

DIALOG(R)File 347:JAPIO  
(c) 2004 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

06318999    \*\*Image available\*\*  
PLASMA TREATMENT APPARATUS AND PLASMA TREATMENT METHOD

PUB. NO.: 11-260597 [JP 11260597 A]  
PUBLISHED: September 24, 1999 (19990924)  
INVENTOR(s): SAWADA KOJI  
OKAZAKI SACHIKO  
KOKOMA MASUHIRO  
YAMAZAKI KEIICHI  
INOUE YOSHIMI  
APPLICANT(s): MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD  
APPL NO.: 10-344735 [JP 98344735]  
FILED: December 03, 1998 (19981203)  
PRIORITY: 09333325 [JP 97933325], JP (Japan), December 03, 1997  
(19971203)  
INTL CLASS: H05H-001/52; C23C-016/50; C23F-004/00; H01L-021/3065;  
H01L-021/304; H05H-001/24

#### ABSTRACT

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a plasma treatment apparatus capable of carrying out plasma treatment of an object to be treated while lessening thermal damages and damages by a streamer electric discharge.

**SOLUTION:** This plasma treatment apparatus comprises a cylindrical reaction tube 2 provided with an outside electrode 1 and an inside electrode 3 installed in the inside of the reaction tube 2 and generates glow discharge in the inside of the reaction tube 2 in the atmospheric pressure by introducing an inert gas or a gas mixture of an inert gas and a reaction gas into the reaction tube 2 and applying a.c. electric field between the outside electrode 1 and the inside electrode 3 and blows plasma jet 65 from the reaction tube 2. In this case, a cooling means is installed in the outside electrode 1 and the inside electrode 3, so that temperature increase of the outside electrode 1 or the inside electrode 3 can be suppressed even if plasma is generated by high frequency under the atmospheric pressure and glow discharge can evenly be generated to suppress streamer discharge.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

DIALOG(R)File 352:Derwent WPI  
(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

012523084 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1999-329190/199928

XRPX Acc No: N99-247076

Plasma processing apparatus for cleaning without damage uses a  
refrigerant to cool the electrodes

Patent Assignee: MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD (MATW )

Inventor: INOUE Y; KOGOMA M; OKAZAKI S; SAWADA Y; YAMAZAKI K

Number of Countries: 030 Number of Patents: 010

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week	
EP 921713	A2	19990609	EP 98122873	A	19981202	199928	B
CN 1221967	A	19990707	CN 98122788	A	19981203	199945	
JP 11251304	A	19990917	JP 98344736	A	19981203	199949	
JP 11260597	A	19990924	JP 98344735	A	19981203	199951	
JP 3057065	B2	20000626	JP 98344735	A	19981203	200035	
KR 99062781	A	19990726	KR 9852912	A	19981203	200043	
JP 3180092	B2	20010625	JP 98344736	A	19981203	200138	
US 6429400	B1	20020806	US 98203478	A	19981202	200254	
			US 2000667437	A	20000922		
TW 503263	A	20020921	TW 98119986	A	19981202	200337	
KR 365898	B	20030219	KR 9852912	A	19981203	200353	

Priority Applications (No Type Date): JP 97333325 A 19971203

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

EP 921713 A2 E 42 H05H-001/28

Designated States (Regional): AL AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT

LI LT LU LV MC MK NL PT RO SE SI

CN 1221967 A H01J-037/32

JP 11251304 A 20 H01L-021/3065

JP 11260597 A 25 H05H-001/52

JP 3057065 B2 25 H05H-001/28 Previous Publ. patent JP 11260597

KR 99062781 A C23C-016/50

JP 3180092 B2 20 H01L-021/3065 Previous Publ. patent JP 11251304

US 6429400 B1 B23K-010/00 CIP of application US 98203478

TW 503263 A C23C-016/50

KR 365898 B H05H-001/28 Previous Publ. patent KR 99062781

Abstract (Basic): EP 921713 A2

NOVELTY - A plasma processing apparatus (K1) includes a cylindrical  
reaction pipe (2), a cylindrical central electrode (3) and a  
cylindrical metallic outer electrode (1), forming a discharge space  
(22) between the electrodes. A gas inlet pipe (56) is projected from an

upper portion of the reaction pipe and an alternating current power source (17) applies voltage between the electrodes, generating a glow discharge in the discharge space and a plasma jet (55) directed onto an article (7). The electrodes are cooled by refrigerant circulated along a path (29)

**DETAILED DESCRIPTION** – An independent claim is included for automatic plasma processing system and method

**USE** – Plasma cleaning, e.g. of organic substances on articles, separation of a resist, etching of organic film, reduction of metal oxide, film forming and surface modification

**ADVANTAGE** – Preventing damage to processed article

**DESCRIPTION OF DRAWING(S)** – The drawing is a sectional view of plasma processing apparatus according to first embodiment of present invention

Plasma processing apparatus (K1)

Reaction pipe (2)

Inner and outer electrodes (3,1)

Discharge space (22)

Gas inlet pipe (56)

Plasma jet (55)

Article (7)

pp; 42 DwgNo 1/25

**Title Terms:** PLASMA; PROCESS; APPARATUS; CLEAN; DAMAGE; REFRIGERATE;  
COOLING; ELECTRODE

**Derwent Class:** P55; V05; X14; X24

**International Patent Class (Main):** B23K-010/00; C23C-016/50; H01J-037/32;  
H01L-021/3065; H05H-001/28; H05H-001/52

**International Patent Class (Additional):** C23C-014/32; C23C-016/509;  
C23F-004/00; H01L-021/302; H01L-021/304; H05H-001/24; H05H-001/30;  
H05H-001/46

**File Segment:** EPI; EngPI

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-260597

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月24日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

H 0 5 H 1/52

C 2 3 C 16/50

C 2 3 F 4/00

H 0 1 L 21/3065

21/304

6 4 5

F I

H 0 5 H 1/52

C 2 3 C 16/50

C 2 3 F 4/00

H 0 1 L 21/304

H 0 5 H 1/24

F

A

6 4 5 C

審査請求 有 請求項の数17 OL (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-344735

(22) 出願日 平成10年(1998)12月3日

(31) 優先権主張番号 特願平9-333325

(32) 優先日 平9(1997)12月3日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005832

松下電工株式会社

大阪府門真市大字門真1048番地

(72) 発明者 澤田 康志

大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内

(72) 発明者 岡崎 幸子

東京都杉並区高井戸東2-20-11

(72) 発明者 小駒 益弘

埼玉県和光市下新倉843-15

(74) 代理人 弁理士 西川 恵清 (外1名)

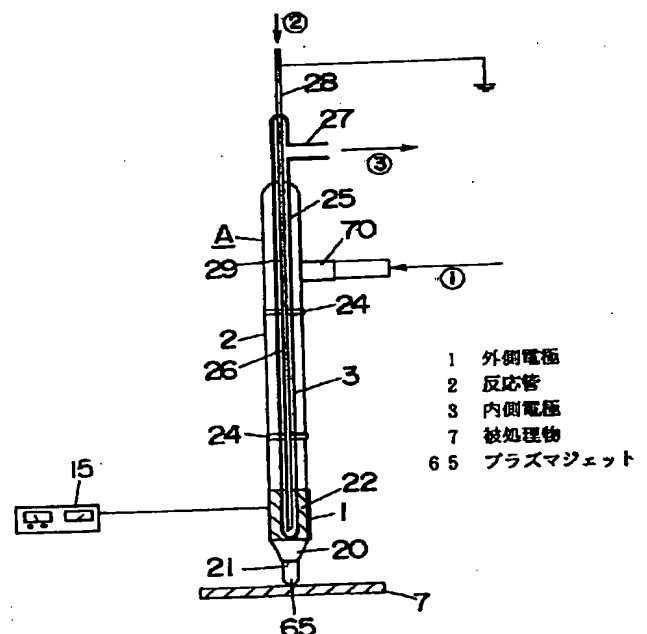
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57) 【要約】

【課題】 熱的損傷やストリーマー放電による損傷を少なくして被処理物をプラズマ処理することができるプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】 外側電極1を備えた筒状の反応管2、及び反応管2の内部に配置される内側電極3を具備して構成される。反応管2に不活性ガスまたは不活性ガスと反応ガスの混合気体を導入すると共に外側電極1と内側電極3の間に交流電界を印加することにより大気圧下で反応管2の内部にグロー放電を発生させる。反応管2からプラズマジェット65を吹き出すようにするプラズマ処理装置に関する。外側電極1と内側電極3に冷却手段を設ける。大気圧下で周波数の高い交流でプラズマを生成しても、外側電極1あるいは内側電極3の温度上昇を抑えることができる。均質なグロー放電を生成してストリーマー放電の生成を抑えることができる。



#### 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 外側電極を備えた筒状の反応管、及び反応管の内部に配置される内側電極を具備して構成され、反応管に不活性ガスまたは不活性ガスと反応ガスの混合気体を導入すると共に外側電極と内側電極の間に交流電界を印加することにより大気圧下で反応管の内部にグロー放電を発生させ、反応管からプラズマジェットを吹き出すようにするプラズマ処理装置において、外側電極と内側電極に冷却手段を設けて成ることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2】 冷却手段として不凍性及び絶縁性を有する液体の冷媒を用いて成ることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】 冷媒を循環させる循環手段を具備して成ることを特徴とする請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】 外側電極として内側電極と絶縁された金属製の円筒管を用いて成ることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】 絶縁性材料で反応管を形成すると共に反応管の外周に金属製の外側電極を設けて成ることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】 反応管から吹き出すプラズマジェットの温度を 250℃以下に制御するための制御手段を具備して成ることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】 外側電極と内側電極の少なくとも一方の表面粗度が 10～1000 μmであることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】 誘電率が 2000 以下の絶縁性材料で反応管を形成して成ることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 9】 内側電極の表面を絶縁性材料でコーティングして成ることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 10】 プラズマジェットが吹き出される吹き出し口を反応管の先端面に設け、反応管の先端を吹き出し口側に向かって先細りとなるテーパ構造に形成して成ることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 11】 プラズマジェットが吹き出される吹き出し口を反応管の先端面に少なくとも 1 個以上設けて成ることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 12】 吹き出し口からの反応管への不純物含有空気の流入を防止するための流入防止手段を具備して成ることを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 13】 流入防止手段が吹き出し口を塞ぐ蓋体

であることを特徴とする請求項 12 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 14】 流入防止手段が吹き出し口から吹き出される乾燥空気であることを特徴とする請求項 12 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 15】 外側電極を備えた筒状の反応管の内部に内側電極を配置し、反応管に不活性ガスまたは不活性ガスと反応ガスの混合気体を導入すると共に外側電極と内側電極の間に交流電界を印加することにより大気圧下で反応管の内部にグロー放電を発生させ、反応管から被処理物にプラズマジェットを吹き出すようにするプラズマ処理方法において、外側電極と内側電極を冷却しながら外側電極と内側電極の間に交流電界を印加することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 16】 被処理物が回路基板であって、回路をプラズマ処理することを特徴とする請求項 15 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 17】 プラズマ処理される回路がボンディングパッドであることを特徴とする請求項 16 に記載のプラズマ処理方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、被処理物の表面に存在する有機物等の異物のクリーニング、レジストの剥離、有機フィルムの密着性の改善、金属酸化物の還元、製膜、表面改質などのプラズマ処理に利用されるプラズマを発生させるためのプラズマ処理装置、及びこれを用いたプラズマ処理方法に関するものであり、精密な接合が要求される電子部品の表面のクリーニングに応用されるものである。

##### 【0002】

【従来の技術】 従来より、大気圧下でプラズマ処理を行うことが試みられている。例えば、特開平 2-15171 号公報や特開平 3-241739 号公報や特開平 1-306569 号公報には、図 14 に示すように、反応容器内の放電空間に一对の電極を配置すると共に電極の間に誘電体を設け、放電空間を He（ヘリウム）や Ar（アルゴン）などの希ガスを主成分とするプラズマ生成用ガスで充填し、反応容器に被処理物を入れると共に電極の間に交流電界を印加するようにしたプラズマ処理方法が開示されており、誘電体が配置された電極の間に交流電界を印加することにより安定的にグロー放電を発生させ、このグロー放電によりプラズマ生成用ガスを励起して反応容器内にプラズマを生成し、このプラズマにより被処理物の処理を行うようにしたものである。

【0003】 しかしこの方法では被処理物の特定の部分にのみプラズマ処理を行いにくく、また処理時間も長くなるという問題があった。そこで上記方法を発展させて、大気圧下でグロー放電により生成したプラズマ（特にプラズマの活性種）を被処理物にジェット状に吹き出

してプラズマ処理を行うことが提案されている（例えば、特開平4-358076号公報、特開平3-219082号公報、特開平4-212253号公報、特開平6-108257号公報）。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記のようなプラズマジェットで処理を行う方法において、使用する交流の周波数が10kHz未満であれば、生成されるラジカル量が少なくなってプラズマ処理の効果が小さくなる。従って、10～数十MHzの周波数の交流を用いるようにしているが、このように10～数十MHzの周波数の交流を用いると、プラズマの温度（ガス温度）が非常に高くなって被処理物が空气中で酸化したり炭化したりして熱的な損傷を受けるという問題があった。

【0005】プラズマが発熱する原因は、放電によりガス粒子が衝突を繰り返すためであると考えられるが、プラズマが非常に高温になる理由は、大気圧下で生成したプラズマは減圧下で生成したプラズマに比べて平均自由行路が小さいので、衝突頻度も高くなり、このためにプラズマの温度上昇が著しくなるためであると考えられる。またこの衝突頻度は印加する交流の周波数にも密接に関係し、周波数が高くなるほど衝突頻度も高くなり、反応領域におけるプラズマが非常に高温になる。従って、プラズマの反応や生成に好適なラジカルやイオンの量は印加する交流の周波数が高くなると増加するが、その反面、反応管や電極の温度、特に放熱されにくい反応管内の内側の電極の温度上昇はプラズマの攻撃により著しく、この内側の電極の熱がプラズマに伝導してプラズマの温度が非常に高くなるのである。しかも内側の電極の金属の種類によっては、その融点近くにまで内側の電極の温度が達することもあり、内側の電極が腐食して揮発し、これが被処理物へデポジットするという問題が生じる場合もある。

【0006】また上記のようなプラズマジェットで処理を行う方法においては、ストリーマー放電が被処理物に向かって生成しやすく、このストリーマー放電により被処理物の表面が損傷を受けるという問題があった。

#### 【0007】ストリーマー放電の生成過程を図16

(a) (b) に示すプラズマ装置で説明する。このプラズマ装置は、外側電極1を備えた筒状の反応管2の内部に内側電極3を配置し、反応管2にプラズマ生成用ガスを導入すると共に外側電極1と内側電極3に交流を印加して外側電極1と内側電極3の間に交流電界を印加するようにしたものであり、外側電極1と内側電極3の間に交流電界を印加することにより反応管2の内部にグロー放電を発生させ、このグロー放電によりプラズマ生成用ガスを励起して反応管2の内部にプラズマを生成し、このプラズマを反応管2の下面の吹き出し口21からプラズマジェットとして吹き出して被処理物7に輸送することによって、プラズマ処理を行うようにしたものであ

る。

【0008】このようなプラズマ装置において、ストリーマー放電が生成される原因の一つは、上記のプラズマの温度上昇により反応管2の内側や外側電極1が主に伝熱により温度上昇を引き起こすためであると考えられる。つまり、外側電極1と内側電極3の間の空間（放電空間22）の局所的な温度上昇が部分的な電子放出を招き、その部分に電流が集中的に流れるためであると考えられる。ストリーマー放電60が生成される他の原因としては、プラズマ生成用ガス中のアルゴンが高濃度であるためと考えられる。つまり、ヘリウムは拡散速度及び熱伝導性が高いため、局所的な温度上昇が緩和されるのに対して、アルゴンの濃度が増加するにつれて空間中の放熱性が低くなるためであると考えられる。

【0009】さらに詳しく説明すると、まず反応管2と内側電極3の表面に電流の集中した部分が現れて、次いでこの部分を核として外側電極と内側電極の間の空間にストリーマー67が図16(a)に示すように生成される。一旦、このようなストリーマー67が生じると、もはや安定したプラズマ（グロー放電）は生成されなくなって、良好なプラズマ処理は行えなくなり、さらに外側電極1と内側電極3の間だけでなく、図16(b)に示すように、内側電極3と被処理物7の間にまでストリーマー放電60が走り、このストリーマー放電60が被処理物7の表面に損傷を与えるようになるのである。

【0010】このように従来から行われているプラズマジェットを用いた大気圧下でのプラズマ処理は、処理効果を高めるために交流の周波数を高くすると、被処理物7が熱的な損傷やストリーマー放電60による損傷を受けることになり、これらの損傷を防ぐために交流の周波数を低くすると、処理効果が低くなるものであった。そしてこれらは、被処理物7に多様な材料、例えば熱に弱い有機物や空气中で容易に酸化される銀や銅などの金属や溶融しやすい半田やICチップなどを含む電子材料（電子部品）をプラズマ処理する場合に大きな障害となっていた。

【0011】本発明は上記の点に鑑みてなされたものであり、熱的損傷やストリーマー放電による損傷を少なくして被処理物をプラズマ処理することができるプラズマ処理装置を提供することを目的とするものである。また本発明は、熱的な損傷やストリーマー放電による損傷を少なくして被処理物をプラズマ処理することができるプラズマ処理方法を提供することを目的とするものである。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の請求項1に記載のプラズマ処理装置Aは、外側電極1を備えた筒状の反応管2、及び反応管2の内部に配置される内側電極3を具備して構成され、反応管2に不活性ガスまたは不活性ガスと反応ガスの混合気体を導入すると共に外側電極1

と内側電極3の間に交流電界を印加することにより大気圧下で反応管2の内部にグロー放電を発生させ、反応管2からプラズマジェット65を吹き出すようにするプラズマ処理装置において、外側電極1と内側電極3に冷却手段を設けて成ることを特徴とするものである。

【0013】また本発明の請求項2に記載のプラズマ処理装置Aは、請求項1の構成に加えて、冷却手段として不凍性及び絶縁性を有する液体の冷媒を用いて成ることを特徴とするものである。

【0014】また本発明の請求項3に係るプラズマ処理装置Aは、請求項2の構成に加えて、冷媒を循環させる循環手段4を具備して成ることを特徴とするものである。

【0015】また本発明の請求項4に記載のプラズマ処理装置Aは、請求項1乃至3のいずれかの構成に加えて、外側電極1として内側電極3と絶縁された金属製の円筒管を用いて成ることを特徴とするものである。

【0016】また本発明の請求項5に記載のプラズマ処理装置Aは、請求項1乃至4のいずれかの構成に加えて、絶縁性材料で反応管2を形成すると共に反応管2の外周に金属製の外側電極1を設けて成ることを特徴とするものである。

【0017】また本発明の請求項6に記載のプラズマ処理装置Aは、請求項1乃至5のいずれかの構成に加えて、反応管2から吹き出すプラズマジェット65の温度を250℃以下に制御するための制御手段48を具備して成ることを特徴とするものである。

【0018】また本発明の請求項7に記載のプラズマ処理装置Aは、請求項1乃至6のいずれかの構成に加えて、外側電極1と内側電極3の少なくとも一方の表面粗度が10～1000μmであることを特徴とするものである。

【0019】また本発明の請求項8に記載のプラズマ処理装置Aは、請求項1乃至7のいずれかの構成に加えて、誘電率が2000以下の絶縁性材料で反応管2を形成して成ることを特徴とするものである。

【0020】また本発明の請求項9に記載のプラズマ処理装置Aは、請求項1乃至8のいずれかの構成に加えて、内側電極3の表面を絶縁性材料でコーティングして成ることを特徴とするものである。

【0021】また本発明の請求項10に記載のプラズマ処理装置Aは、請求項1乃至9のいずれかの構成に加えて、プラズマジェット65が吹き出される吹き出し口21を反応管2の先端面に設け、反応管2の先端を吹き出し口21側に向かって先細りとなるテーパ構造に形成して成ることを特徴とするものである。

【0022】また本発明の請求項11に記載のプラズマ処理装置Aは、請求項1乃至10のいずれかの構成に加えて、プラズマジェット65が吹き出される吹き出し口21を反応管2の先端面に少なくとも1個以上設けて成

ることを特徴とするものである。

【0023】また本発明の請求項12に記載のプラズマ処理装置Aは、請求項1乃至11のいずれかの構成に加えて、吹き出し口21からの反応管2への不純物含有空気の流入を防止するための流入防止手段5を具備して成ることを特徴とするものである。

【0024】また本発明の請求項13に記載のプラズマ処理装置Aは、請求項12の構成に加えて、流入防止手段5が吹き出し口21を塞ぐ蓋体6であることを特徴とするものである。

【0025】また本発明の請求項14に記載のプラズマ処理装置Aは、請求項12の構成に加えて、流入防止手段5が吹き出し口21から吹き出される乾燥空気であることを特徴とするものである。

【0026】また本発明の請求項15に記載のプラズマ処理方法は、外側電極1を備えた筒状の反応管2の内部に内側電極3を配置し、反応管2に不活性ガスまたは不活性ガスと反応ガスの混合気体を導入すると共に外側電極1と内側電極3の間に交流電界を印加することにより大気圧下で反応管2の内部にグロー放電を発生させ、反応管2から被処理物7にプラズマジェット65を吹き出すようにするプラズマ処理方法において、外側電極1と内側電極3を冷却しながら外側電極1と内側電極3の間に交流電界を印加することを特徴とするものである。

【0027】また本発明の請求項16に記載のプラズマ処理方法は、請求項15の構成に加えて、被処理物7が回路基板8であって、回路をプラズマ処理することを特徴とするものである。

【0028】また本発明の請求項17に記載のプラズマ処理方法は、請求項16の構成に加えて、プラズマ処理される回路がボンディングパッド9であることを特徴とするものである。

【0029】  
【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を説明する。

【0030】図1にプラズマ処理装置の一例を示す。反応管2は絶縁性材料（誘電体材料）で円筒状に形成されるものであって、その下端には直径が下側ほど小さくなるように絞り込まれたテーパ構造の集束部20が形成されていると共に、反応管2の下端面である集束部20の下面には吹き出し口21が設けられている。このように集束部20を設けずに吹き出し口21の口径を反応管2の直径とほぼ同じに形成した場合、吹き出し口21から吹き出されるプラズマジェット65の流速を上げようとすると、後述の外側電極1と内側電極3の間隔を小さくして放電空間22の体積を小さくしなければならず、このために外側電極1と内側電極3の冷却が難しくなるが、本発明のように反応管2よりも直径が絞り込まれた集束部20を設けることによって、放電空間22の体積を小さくすることなくプラズマジェット65の流速

を上げることができ、被処理物7のプラズマ処理を効率よく行うことができる。

【0031】図1に示すプラズマ処理装置Aの吹き出し口21の開口面積は、直径が0.1～5mmの真円の面積に相当する大きさに形成されている。吹き出し口21の開口面積が上記の範囲よりも小さすぎると、吹き出されるプラズマジェット65の処理範囲が小さくなりすぎて、被処理物7のプラズマ処理に長時間を要することになり、逆に、吹き出し口21の開口面積が上記の範囲よりも大きすぎると、吹き出されるプラズマジェット65の処理範囲が大きくなりすぎて、被処理物7に局所的なプラズマ処理を施すことができなくなる恐れがある。

【0032】また反応管2の上部にはガス導入管70が突設されている。反応管2を形成する絶縁性材料の誘電率は放電空間22（図1に斜線で示す）の低温化の重要な要素であって、誘電率が2000以下の絶縁性材料を用いるのが好ましい。反応管2の絶縁性材料の誘電率が2000を超えると、外側電極1と内側電極3の空間に印加される電圧が大きくなる代わりに、外側電極1と内側電極3の間の放電空間22でのプラズマの温度（ガス温度）が上昇する恐れがある。反応管2の絶縁性材料の誘電率の下限値は特に限定されないが、2であり、これよりも小さいと、放電を維持するために、外側電極1と内側電極3の間に印加する交流の電圧を大きくしなければならず、このため、外側電極1と内側電極3の間の放電空間22での電力消費量が大きくなって放電空間22でのプラズマの温度が上昇する恐れがある。

【0033】反応管2を形成する絶縁性材料として具体的には、石英、アルミナ、イットリア部分安定化ジルコニウムなどのガラス質材料やセラミック材料などを例示することができる。またマグネシア（MgO）単体あるいはマグネシアを含む絶縁性材料で反応管2を形成することもでき、このことでグロー放電の安定化を図ることができる。これは、マグネシアは二次電子放出係数が高いので、プラズマ中のイオンが反応管2の表面（内面）に衝突した場合、反応管2の表面から二次電子が多量に放出されることになり、この二次電子が反応管2の表面に形成されたシースで加速されてプラズマ生成用ガスを電離することになり、この結果、放電の安定化が保たれると推察される。

【0034】集束部20の上側部分において反応管2の外周には金属製の外側電極1が全周に亘って設けられている。外側電極1の金属材料としては熱伝導性の高いものであることが好ましく、このことで外側電極1の放熱性が向上して放電の均一化を図ることができる。具体的には外側電極1の金属材料として、銅、アルミニウム、真鍮、耐食性の高いステンレスなどを用いることができる。また外側電極1は板状やメッシュ状（網状）に形成することができる。

【0035】外側電極1の反応管2側の表面の算術平均

粗さで表した粗度は10～1000μmに設定することができ、このことで、放電空間22における放電の均一化を図ることができる。これはミクロ的に見た場合に、非常に微細なマイクロディスチャージの集合体が形成され、アークへの移行が阻害されるためであると考えられる。外側電極1の表面の粗度が10μm未満であれば、放電しにくくなる恐れがあり、外側電極1の表面の粗度が1000μmを超えると、放電の不均一化が生じる恐れがある。このように外側電極1の表面を粗面化する加工としては、サンドブラストなどの物理的手段を採用することができる。尚、表面粗さを $y=f(x)$ の形に表した場合の算術平均粗さ $Ra$ （μm）はJIS B 0601で以下の式（1）で定義されている。

【0036】

【数1】

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x)| dx \quad \dots (1)$$

$l$ は電極の長さである

【0037】反応管2の内部には反応管2の中心部を上下に貫くように内側電極（中心電極）3が配設されている。内側電極3は断面略円形であって、その直径（外径）は1～20mmに設定するのが好ましい。内側電極3の直径が1mm未満であれば、放電空間22の面する内側電極3の表面積が小さくなり過ぎて放電が起こりにくくなり、プラズマを十分に生成することができなくなる恐れがあり、内側電極3の直径が20mmを超えると、相対的に反応管2や外側電極1を大きくしなければならず、装置が大型化する恐れがある。この内側電極3は集束部20の上側から反応管2の上側に突出するまでに設けられており、反応管2の内部において複数の支持具24にて支持されている。そして反応管2の内部において、外側電極1と内側電極3の間の空間が放電空間22として内側電極3を囲うように形成されている。

【0038】上記の放電空間22の下端から吹き出し口21までの距離、すなわち外側電極1や内側電極3の下端から吹き出し口21までの距離であって、集束部20の高さ寸法は、20mm以下に設定するのが好ましい。この距離が20mmを超えると、活性の高い生きたプラズマ活性種（ラジカルやイオンなど）を消滅させる前に、プラズマジェット65を被処理物7に吹き付けることができなくなると、被処理物7に対するプラズマ処理の能力が低下する恐れがある。従って、放電空間22の下端から吹き出し口21までの距離を20mm以下にすることによって、活性の高い生きたプラズマ活性種を消滅させる前に、吹き出し口21からプラズマジェット65を吹き出して被処理物7に吹き付けることができ、被



処理物7のプラズマ処理を高めることができる。放電空間22の下端から吹き出し口21までの距離は小さいほど好ましいので、下限は0である。

【0039】また外側電極1の内面と内側電極3の外面の間の距離（放電空間22の幅寸法）は1～10mmに設定するのが好ましい。この距離が1mm未満であれば、外側電極1と内側電極3の距離が近すぎて安定な放電を得ることができなくなる恐れがあり、この距離が10mmを超えると、外側電極1と内側電極3の距離が遠すぎて印加電力を大きくしなければならず、外側電極1や内側電極3の温度が上昇して安定な放電を得ることができなくなる恐れがある。

【0040】上記の内側電極3は電極本体管25と供給管26から構成される二重管で形成されている。電極本体管25は上下面が閉口する中空の棒状に形成されるものであって、反応管2よりも上側に突出する箇所には排出管部27が設けられている。電極本体管25よりも小径に形成される供給管26は、電極本体管25の中心部を貫くように電極本体管25の下部から電極本体管25の上側に突出するまでに設けられており、電極本体管25の上側に突出する部分は供給部28として形成されている。そして内側電極3の内部において電極本体管25と供給管26の間には、排出管部27と連通する流路部29として形成されている。これら電極本体管25と供給管26は外側電極1と同様の金属材料で形成されることが好ましく、また電極本体管25の外面は外側電極1と同様に粗面化されているのが好ましい。

【0041】放電空間22における放電の安定化のために、内側電極3の電極本体管25の表面は絶縁性材料（誘電体材料）の被膜でコーティングされていることが好ましい。またこのコーティングで用いる絶縁性材料の誘電率は2000以下であることが好ましく、絶縁性材料の誘電率が2000を超えると、外側電極1と内側電極3の空間に印加される電圧が大きくなる代わりに、外側電極1と内側電極3の間の放電空間22でのプラズマの温度（ガス温度）が上昇する恐れがある。絶縁性材料の誘電率の下限値は特に限定されないが、2であり、これよりも小さいと、放電を維持するために、外側電極1と内側電極3の間に印加する交流の電圧を大きくしなければならず、このため、外側電極1と内側電極3の間の放電空間22での電力消費量が大きくなって放電空間22でのプラズマの温度が上昇する恐れがある。

【0042】内側電極3のコーティングに用いる絶縁性材料として具体的には、石英、アルミナ、イットリア部分安定化ジルコニウムなどのガラス質材料やセラミック材料などを例示することができる。さらに、アルミナ、チタニア、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiC}$ 、DLC（ダイヤモンド様炭素被膜）、チタン酸バリウム、PZT（チタン酸鉛ジルコネート）などの誘電体材質のものを例示することができる。またマグネシア（ $\text{MgO}$ ）単

体あるいはマグネシアを含む絶縁性材料を用いることもでき、このことでグロー放電の安定化を図ることができる。これは、マグネシアは二次電子放出係数が高いので、プラズマ中のイオンが内側電極3の表面のコーティングに衝突した場合、コーティングの表面から二次電子が多量に放出されることになり、この二次電子がコーティングの表面に形成されたシースで加速されてプラズマ生成用ガスを電離することになり、この結果、放電の安定化が保たれると推察される。このようなマグネシアを含む絶縁性材料としては、例えば、アルミナ等のセラミック粉末の中に微量（0.01～5vol%）のマグネシアを添加して焼結した焼結体、及び石英などのガラス質の表面にCVD等で $\text{MgO}$ 膜を形成したものなどを挙げることができる。

【0043】また内側電極3の表面にコーティングするにあたっては、絶縁性材料で円筒体（セラミック管やガラス管）を形成し、これの内側に内側電極3を挿着して密着させる方法、及びアルミナ、チタン酸バリウム、PZTなどの粉末をプラズマ中で分散させ、内側電極3の電極本体管25の表面に吹き付けるようにするプラズマ溶射法、及びシリカ、酸化スズ、チタニア、ジルコニア、アルミナなどの無機質粉末を溶剤などにより分散し、内側電極3の電極本体管25の表面にスプレーなどで吹き付けて被覆した後、600℃以上の温度で熔融させるいわゆる珪瑯被覆方法、及びゾルゲル法によるガラス質膜の形成方法などを採用することができる。さらに気相蒸着法（CVD）もしくは物理蒸着法（PVD）により内側電極3の電極本体管25の表面を絶縁性材料でコーティングすることもでき、これらの方法を採用することによって、極めて緻密で平滑な吸着性の乏しい絶縁性材料の被膜で内側電極3の表面をコーティングすることができ、放電の安定化をより促進することができる。

【0044】本発明の冷却手段として用いる冷媒は、イオン交換水や純水も使用することができるが、0℃で不凍性を有し、且つ電気絶縁性及び不燃性や化学安定性を有する液体であることが好ましく、冷媒の電気絶縁性能は0.1mm間隔での耐電圧が10kV以上であることが好ましい。この範囲の絶縁性を有する冷媒を用いる理由は、高電圧が印加される電極からの漏電を防止するためである。このような性質を有する冷媒としては、パーフルオロカーボン、ハイドロフルオロエーテル等を例示することができ、また純水にエチレングリコールを5～60重量%添加した混合液であってもよい。

【0045】本発明において外側電極1と内側電極3に印加される交流の周波数は、1kHz～50GHz、好ましくは10kHz～200MHzに設定される。交流の周波数が1kHz未満であれば、放電空間22での放電を安定化させることができなくなる恐れがあり、交流の周波数が50GHzを超えると、放電空間22でのプラズマの温度上昇が著しくなる恐れがある。また外側電

極1と内側電極3に交流を印加する場合、外側電極1と電源15を接続し、内側電極3を接地するのが好ましく、このことで内側電極3と被処理物7の間のストリーマー放電を抑制することができる。これは、内側電極3と被処理物7の間の電位差がほとんど0になり、ストリーマー放電が生成されにくくなるためであり、特に、被処理物7に金属部分が含まれている場合はストリーマー放電の生成が著しくなるので、内側電極3を接地するのが好ましい。尚、図1のものでは内側電極3は供給管26の供給部28から接地されている。

【0046】また本発明において外側電極1と内側電極3の間の放電空間22に印加される印加電力は $20 \sim 3500 \text{ W/cm}^3$ に設定するのが好ましい。放電空間22に印加される印加電力が $20 \text{ W/cm}^3$ 未満であれば、プラズマを十分に発生させることができなくなり、逆に、放電空間22に印加される印加電力が $3500 \text{ W/cm}^3$ を超えると、安定した放電を得ることができなくなる恐れがある。尚、印加電力の密度( $\text{W/cm}^3$ )は、(印加電力/放電空間体積)で定義される。

【0047】本発明においてプラズマ生成用ガスとしては、不活性ガス(希ガス)あるいは不活性ガスと反応ガスの混合気体を用いることができる。不活性ガスとしては、ヘリウム、アルゴン、ネオン、クリプトンなどを使用することができるが、放電の安定性や経済性を考慮すると、アルゴンやヘリウムを用いるのが好ましい。またアルゴン単独ではストリーマー放電が生成し易いので、アルゴンをヘリウムで希釈した混合ガスを用いることが好ましく、その混合比率は放電空間22の温度とも密接に関連するが、プラズマジェット65の温度を $250^\circ\text{C}$ 以下にした場合は、アルゴンを90重量%以下にするのが好ましい。これよりもアルゴンが多くなると、ストリーマー放電が生じ易くなる恐れがある。尚、アルゴンが多いとストリーマー放電が生じ易くなるのは、アルゴンがヘリウムに比べて準安定状態のエネルギーや寿命がヘリウムに比べて小さいためであると考えられる。

【0048】また上記反応ガスの種類は処理の内容によって任意に選択することができる。例えば、被処理物の表面に存在する有機物のクリーニング、レジストの剥離、有機フィルムのエッチングなどを行う場合は、酸素、空気、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ などの酸化性ガスを用いるのが好ましい。また反応ガスとして $\text{CF}_4$ などのフッ素系ガスも適宜用いることができ、シリコンなどのエッチングを行う場合にはこのフッ素系ガスを用いるのが効果的である。また金属酸化物の還元を行う場合は、水素、アンモニアなどの還元性ガスを用いることができ、その添加量は不活性ガスに対して10重量%以下、好ましくは0.1~5重量%の範囲である。反応ガスの添加量が0.1重量%未満であれば、処理効果が低くなる恐れがあり、反応ガスの添加量が10重量%を超えると、放電が不安定になる恐れがある。

【0049】また上記有機物の除去や無機物の還元・除去の処理は、反応ガスを用いなくても不活性ガスのみで行うことができる。つまり、被処理物7の表面の酸化やフッ素化を起こさなくても上記処理が行える。これは、プラズマ内部に存在する不活性ガスのイオンやラジカルの運動エネルギーとガス流(プラズマが吹き出す際の流れ)の運動エネルギーが合わさってプラズマが被処理物7にアタックすることによる効果であり、このアタックにより被処理物7の表面の化合物の結合エネルギーを切断して除去するためであると考えられる。

【0050】次に、上記のように形成されるプラズマ処理装置Aを用いたプラズマ処理方法を説明する。まず、ガス導入管70を通じて反応管2の内部にプラズマ生成用ガスを導入する(矢印①)と共に、外側電極1と内側電極3に高周波などの交流を印加し、さらにこれと同時に内側電極3を冷媒によって冷却すると共に外側電極1に冷却された空気を吹き付けるなどして外側電極1を空冷して冷却する。この後、外側電極1と内側電極3の間に印加された交流電界により大気圧下で反応管2の放電空間22でグロー放電を発生させ、グロー放電で反応管2の内部に導入されたプラズマ生成用ガスをプラズマ化し、プラズマ活性種を含むこのプラズマを図2に示すように吹き出し口21からプラズマジェット65として吹き出して被処理物7の表面に吹きつけることによって、プラズマ処理を行うことができる。

【0051】吹き出し口21から吹き出されるプラズマジェット65の流速は、 $2 \sim 30 \text{ m/秒}$ に設定するのが好ましい。プラズマジェット65の流速が $2 \text{ m/秒}$ 未満であれば、プラズマジェット65の処理能力が小さすぎて被処理物7をプラズマ処理するのに長時間を要することになる恐れがあり、プラズマジェット65の流速が $30 \text{ m/秒}$ を超えると、プラズマジェット65の処理能力が大きすぎて被処理物7が破損する恐れがある。そしてプラズマジェット65の流速が上記の範囲となるように、吹き出し口21の口径や集束部20の傾斜の度合いを調整して設定するのである。

【0052】上記のプラズマ処理において、内側電極3を冷媒によって冷却するにあたっては、供給部28の上端の開口から冷媒を供給管26に供給する(矢印②)と共に、供給管26の下端の開口から冷媒を内側電極3の内部の流路部29に流入し、冷媒を流路部29に充填させるようにして行うことができる。また流路部29に充填させた冷媒は内側電極3の温度上昇により温度が高くなり冷却能力が低下してくるが、この冷却能力が低下した冷媒は排出管部27を通じて流路部29から排出し

(矢印③)、これと同時に供給管26を通じて冷却能力の高い冷媒を新たに流路部29に導入するようにする。流路部29から排出された冷却能力の低下した冷媒は冷凍機に導入され、ここで冷却されて冷却能力の高い冷媒に戻される。冷却能力が向上した冷媒は、上記のように

供給管 26 を通じて流路部 29 に導入される。このように冷媒を循環させることによって、内側電極 3 を常に冷却して所望の温度に保つことができる。上記のように内側電極 3 の流路部 29 と冷凍機の間で循環させる循環手段としてはポンプを用いることができる。

【0053】プラズマジェット 65 の温度は 250℃ 以下にするのが好ましい。このような温度にするために、外側電極 1 及び内側電極 3 はその表面温度が 350℃ 以下になるように冷却されるのが好ましい。内側電極 3 の表面温度が 350℃ を超えると、放電空間 22 にストリーマー放電が生成されて、均質なグロー放電が生成されない恐れがある。尚、内側電極 3 の表面温度の下限値は特に設定されず、例えば 0℃ 以下であってもよく、冷媒が凍結しない温度であればよい。そしてこのように反応管 2 から吹き出すプラズマジェット 65 の温度を 250℃ 以下に制御するために制御手段を用いるのが好ましい。制御手段は熱電対などの温度センサーとパーソナルコンピュータなどで構成される温度コントローラーから構成されるものであって、温度センサーで測定し、この測定結果に基づいて温度コントローラーで循環手段による冷媒の循環流量や冷凍機の冷却による冷媒の温度や高周波出力を制御してプラズマジェット 65 の温度を 250℃ 以下に制御するのである。尚、プラズマジェット 65 の温度は被処理物 7 やプラズマ処理の種類に応じて変更し、被処理物 7 を処理することができる温度以上にする。

【0054】このように本発明のプラズマ処理装置は、内側電極 3 を冷媒により冷却すると共に外側電極 1 を空冷により冷却するので、大気圧下で周波数の高い交流でプラズマを生成しても、外側電極 1 及び内側電極 3 の温度上昇を抑えることができ、よってプラズマの温度（ガス温度）が高くならないようにすることができて被処理物 7 の熱的損傷を少なくすることができるものである。また内側電極 3 を冷媒により冷却すると共に外側電極 1 を空冷により冷却するので、放電空間 22 の局所的な加熱を防ぐことができ、均質なグロー放電を生成してストリーマー放電の生成を抑えることができ、被処理物 7 のストリーマー放電による損傷を少なくすることができるものである。これは、従来の方法では内側電極 3 の温度が高いほど内側電極 3 からの電子の放出が高められ、局所的な電子の放出が生じ、その部分からストリーマー放電が生成するのに対して、本発明では内側電極 3 を冷媒で冷却すると共に外側電極 1 を空冷することによって、局所的な電子の放出が抑えられるためであると考えられる。

【0055】また外側電極 1 の内側あるいは内側電極 3 の外側に接するなどして無機の絶縁性材料で形成される反応管 2 を配置して外側電極 1 と内側電極 3 の間に電気的絶縁性材料からなるバリア層を形成するので、より高い放電の安定化を図ることができる。尚、上記実施の形

態では、外側電極 1 の内側に絶縁性材料で形成される反応管 2 を接するように配置して内側電極 3 と反応管 2 の間に放電空間 22 を形成するようにしたが、これに限らず、内側電極 3 の外側に絶縁性材料で形成される反応管 2 を接するように配置して外側電極 1 と反応管 2 の間に放電空間 22 を形成するようにしてもよい。また外側電極 1 の内側と反応管 2 の間及び内側電極 3 の外側と反応管 2 の間の両方に放電空間 22 を形成するようにしてもよい。

【0056】またプラズマを集束部 20 で集めて吹き出し口 21 からジェット状に吹き出すようにして、被処理物 7 の小空間にプラズマ（放電）のエネルギー集中するので、処理効果や処理速度を極めて速くすることができる。また冷却手段を施しているため、温度の上昇を招くことなしに印加電力を増加させることができ、その結果としてプラズマの密度を高め、処理速度を速めることができる。さらに処理効果の及ぶ範囲が吹き出し口 21 の近傍の領域に限定することができ、被処理物 7 の必要部分のみにプラズマ処理を施すことができるものであり、処理の不要部分にプラズマの影響を与えないようにすることができる。また大気圧下でのプラズマの処理であるので、被処理物 7 を搬送することにより連続的な処理を行うことができる。

【0057】図 3 に本発明の他の実施の形態を示す。このプラズマ処理装置 A は図 1 のものにおいて、外側電極 1 を図 4 のものに代えて形成されるものであって、その他の構成は図 1 のものと同様に形成されている。この外側電極 1 は金属製であって、図 4 に示すように、筒状の外壁 30 の内側に筒状の内壁 31 を形成すると共に外壁 30 と内壁 31 の間に上下が閉塞された流通路 32 を形成し、外壁 30 の外面の上部に流通路 32 と連通する流入管 34 を設けると共に流入管 34 の反対側の位置において外壁 30 の外面の下部に流通路 32 と連通する流出管 35 を設けるようにして形成されている。また内壁 31 の内周面はサンドブラスト処理等の加工で粗面化されており、その粗度は 10～1000 μm に設定されている。そして内壁 31 の内周面を反応管 2 の外周に接触させるようにして外側電極 1 を反応管 2 の外側に挿着することによって、プラズマ処理装置 A が形成されている。

【0058】このように形成されるプラズマ処理装置 A を用いてプラズマ処理をするにあたっては、図 1 の実施の形態と同様に内側電極 3 を冷媒によって冷却しながら行うことができるが、さらにこの実施の形態のプラズマ処理装置 A は、外側電極 1 も冷媒によって冷却しながらプラズマ処理を行うものである。つまり、流入管 34 を通じて冷媒を流通路 32 に供給して（矢印④）、冷媒を流通路 32 に充填させるようにして外側電極 1 の冷却を行うようにしている。また流通路 32 に充填させた冷媒は外側電極 1 の温度上昇により温度が高くなり冷却能力が低下してくるが、この冷却能力が低下した冷媒は流出

管 35 を通じて流通路 32 から排出し (矢印⑤)、これと同時に流入管 34 を通じて冷却能力の高い冷媒を新たに流通路 32 に導入するようにする。流通路 32 から排出された冷却能力の低下した冷媒は冷凍機に導入され、ここで冷却されて冷却能力の高い冷媒に戻される。冷却能力が向上した冷媒は、上記のように流入管 34 を通じて流通路 32 に導入される。このように冷媒を循環させることによって、外側電極 1 を常に冷却して所望の温度に保つことができる。上記のように外側電極 1 の流通路 32 と冷凍機の間で循環させる循環手段としては内側電極 3 の循環手段と同様にポンプを用いることができる。

【0059】この実施の形態では、外側電極 1 と内側電極の両方を冷媒により冷却するので、外側電極 1 を空冷する上記実施の形態に比べて外側電極 1 の冷却の度合いを大きくすることができる。従って、大気圧下で周波数の高い交流でプラズマを生成しても、外側電極 1 と内側電極 3 の両方の温度上昇をより抑えることができ、よってプラズマの温度 (ガス温度) がより高くないようにすることができて被処理物 7 の熱的損傷をより少なくすることができるものである。また外側電極 1 と内側電極 3 の両方を冷却することによって、放電空間 22 の局所的な加熱をより防ぐことができ、より均質なグロー放電を生成してストリーマー放電の生成を抑えることができ、被処理物 7 のストリーマー放電による損傷をより少なくすることができるものである。これは、外側電極 1 と内側電極 3 の両方を冷却することによって、外側電極 1 と内側電極 3 の両方からの部分的な電子の放出が抑えられるためであると考えられる。

【0060】図 5 に他の実施の形態を示す。このプラズマ処理装置 A は図 4 に示す外側電極 1 を図 3 のように反応管 2 の外側に挿着せずに、反応管 2 に一体に設けて形成されている。つまり、反応管 2 を絶縁性材料で形成される上筒部 2a と下筒部 2b の二体で構成し、外側電極 1 の上端と上筒部 2a の下端を接合すると共に外側電極 1 の下端と下筒部 2b の上端を接合することによって、上筒部 2a と下筒部 2b の間に外側電極 1 を設けて反応管 2 と外側電極 1 を一体化するようにしている。その他の構成は図 1 及び図 3 のものと同様に形成されている。従って、このプラズマ処理装置 A は外側電極 1 と内側電極 3 が絶縁物を介さずに直接向き合うように形成されている。また外側電極 1 と内側電極 3 は絶縁物の上筒部 2a により絶縁されている。

【0061】図 6 (a) (b) に他の実施の形態を示す。反応管 2 は絶縁性材料で断面略四角形の矩形型筒状に形成されるものであって、その下端には幅が下側ほど小さくなった集束部 20 が形成されていると共に集束部 20 の下面の略全面に亘って吹き出し口 21 が設けられている。また反応管 2 の上部にはガス導入管 70 が突設されている。反応管 2 を形成する絶縁性材料として上記と同様のものを用いることができる。

【0062】集束部 20 の上側部分において反応管 2 の外周には金属製の外側電極 1 が全周に亘って設けられている。外側電極 1 は反応管 2 の形状に対応した矩形状に形成されるものであって、図 4 に示すものを円筒ではなくて矩形状に形成したものである。つまり、矩形筒状の外壁 30 の内側に矩形筒状の内壁 31 を形成すると共に外壁 30 と内壁 31 の間に上下が閉塞された流通路 32 を形成し、外壁 30 の外面の上部に流通路 32 と連通する流入管 34 を設けると共に流入管 34 の反対側の位置において外壁 30 の外面の下部に流通路 32 と連通する流出管 35 を設けるようにして形成されている。また内壁 31 の内周面はサンドブラスト処理等の加工で粗面化されており、その粗度は  $10 \sim 1000 \mu\text{m}$  に設定されている。そして内壁 31 の内周面を反応管 2 の外周に接触させるようにして外側電極 1 を反応管 2 の外側に挿着されている。

【0063】反応管 2 の内部には外側電極 1 と対峙するように内側電極 3 が配設されている。内側電極 3 は集束部 20 から反応管 2 の上側に突出するまでに設けられており、反応管 2 の内部において、外側電極 1 と内側電極 3 の間の空間が放電空間 22 として内側電極 3 を囲うように形成されている。内側電極 3 は反応管 2 の形状に対応した矩形状に形成される中空の電極本体管 25 と、電極本体管 25 の上端に突設される供給管部 80 と排出管部 81 とから構成されており、電極本体管 25 の内部は供給管部 80 及び排出管部 81 と連通する流路部 29 として形成されている。この内側電極 3 は外側電極 1 と同様の金属材料で形成されることが好ましく、また電極本体管 25 の外面は外側電極 1 と同様に粗面化されているのが好ましい。さらに内側電極 3 の短手方向の長さは、 $1 \sim 20 \text{ mm}$  に設定するのが好ましい。内側電極 3 の短手方向の長さが  $1 \text{ mm}$  未満であれば、放電空間 22 の面する内側電極 3 の表面積が小さくなり過ぎて放電が起こりにくくなり、プラズマを十分に生成することができなくなる恐れがあり、内側電極 3 の短手方向の長さが  $20 \text{ mm}$  を超えると、相対的に反応管 2 や外側電極 1 を大きくしなければならず、装置が大型化する恐れがある。

【0064】このように形成されるプラズマ処理装置 A を用いてプラズマ処理をするにあたっては、上記の実施の形態と同様に外側電極 1 及び内側電極 3 を冷媒によって冷却しながら行うことができる。まず、ガス導入管 70 を通じて反応管 2 の内部にプラズマ生成用ガスを導入する (矢印①) と共に、外側電極 1 と内側電極 3 に高周波などの交流を印加し、さらにこれと同時に外側電極 1 及び内側電極 3 を冷媒によって冷却する。この後、外側電極 1 と内側電極 3 の間に印加された交流電界により大気圧下で反応管 2 の放電空間 22 でグロー放電を発生させ、グロー放電で反応管 2 の内部に導入されたプラズマ生成用ガスをプラズマ化し、このプラズマを吹き出し口 21 からプラズマジェット 65 として吹き出して被処理

物7の表面に吹きつけることによって、プラズマ処理を行うことができる。

【0065】内側電極3を冷媒によって冷却するにあたっては、供給管部80から冷媒を電極本体管25の流路部29に供給し（矢印②）、冷媒を流路部29に充填させるようにして行うことができる。また流路部29に充填させた冷媒は内側電極3の温度上昇により温度が高くなり冷却能力が低下してくるが、この冷却能力が低下した冷媒は排出管部81を通じて流路部29から排出し

（矢印③）、これと同時に供給管部80を通じて冷却能力の高い冷媒を新たに流路部29に導入するようにする。流路部29から排出された冷却能力の低下した冷媒は冷凍機に導入され、ここで冷却されて冷却能力の高い冷媒に戻される。冷却能力が向上した冷媒は、上記のように供給管部80を通じて流路部29に導入される。このように冷媒を循環させることによって、内側電極3を常に冷却して所望の温度に保つことができる。

【0066】外側電極1を冷媒によって冷却するにあたっては、流入管34を通じて冷媒を流通路32に供給して（矢印④）、冷媒を流通路32に充填させるようにして外側電極1の冷却を行うようにしている。また流通路32に充填させた冷媒は外側電極1の温度上昇により温度が高くなり冷却能力が低下してくるが、この冷却能力が低下した冷媒は流出管35を通じて流通路32から排出し（矢印⑤）、これと同時に流入管34を通じて冷却能力の高い冷媒を新たに流通路32に導入するようにする。流通路32から排出された冷却能力の低下した冷媒は冷凍機に導入され、ここで冷却されて冷却能力の高い冷媒に戻される。冷却能力が向上した冷媒は、上記のように流入管34を通じて流通路32に導入される。このように冷媒を循環させることによって、外側電極1を常に冷却して所望の温度に保つことができる。尚、プラズマジェット65の温度が250℃以下になるように冷却されるのが好ましく、温度を250℃以下に制御するために、上記と同様の温度センサーと温度コントローラーから構成される制御手段を用いるのが好ましい。

【0067】図7に本発明の他の実施の形態を示す。このプラズマ処理装置Aは図3のものにおいて、反応管2の下端部を図7（b）（c）のように形成したものであり、その他の構成は図3のものと同様に形成されている。この反応管2の下端部には集束部20が形成されており、ほぼ真っ直ぐに形成されている。また反応管2の下端面は平板状の閉塞部16で閉塞されており、閉塞部16に複数個（図7のものでは四個で略円形の閉塞部16の四等分線状に配置されている。）の吹き出し口21が穿孔されている。また反応管2の内部には電極本体管25と供給管26からなる内側電極3が反応管2の中心部を上下に貫くように配設されているが、内側電極3の電極本体管25の下端は閉塞部16の上面の略中央部に当接されている。そして図4に示す外側電極1を図3

と同様に反応管2の下部の外側に挿着することによって、プラズマ処理装置Aが形成されている。この時、外側電極1の下端面と反応管2の下端面はほぼ同じ高さに設定されており、従って、外側電極1と内側電極3の間に形成される放電空間22の下端から吹き出し口21までの距離はほぼ0になっている。従って、活性の高い生きたプラズマ活性種を消滅させる前に、吹き出し口21からプラズマジェット65を吹き出して被処理物7に吹き付けることができ、被処理物7のプラズマ処理を高めることができる。

【0068】このように形成されるプラズマ処理装置Aを用いてプラズマ処理をするにあたっては、図3の実施の形態と同様に、ガス導入管70を通じて反応管2の内部にプラズマ生成用ガスを導入すると共に、外側電極1と内側電極3に高周波などの交流を印加し、さらにこれと同時に外側電極1と内側電極3を冷媒によって冷却し、この後、外側電極1と内側電極3の間に印加された交流電界により大気圧下で反応管2の放電空間22でグロー放電を発生させ、グロー放電で反応管2の内部に導入されたプラズマ生成用ガスをプラズマ化し、このプラズマを図7（a）に示すように各吹き出し口21から同時にプラズマジェット65として吹き出して被処理物7の表面に吹きつけることによって、複数のプラズマジェット65でプラズマ処理を行うことができる。外側電極1と内側電極3の冷却は図3のものと同様に行われる。

【0069】このプラズマ処理装置Aでは、プラズマジェット65が吹き出される吹き出し口21を複数個設けたので、被処理物7の複数箇所を同時に局所的に処理することができるものである。

【0070】図8に他の実施の形態を示す。このプラズマ処理装置Aの反応管2は、上記と同様の絶縁性材料で断面略四角形の矩形型筒状に形成されるものであって、その上面は断面略半円状の曲面部17として形成されていると共に反応管2の下面は平板状の底面部18として形成されている。底面部18には反応管2の長手方向に並ぶ複数個の吹き出し口21が二列に穿設されている。また曲面部17には上側に突出する複数本のガス導入管70が接続されている。さらに反応管2の各側壁部19の外面には外側電極1が全長に亘って設けられている。

【0071】外側電極1は矩形板状に形成されるものである。つまり、外壁30の内側に内壁31を形成すると共に外壁30と内壁31の間に上下が閉塞された流通路32を形成し、外壁30の外面の上部に流通路32と連通する流入管34を設けると共に外壁30の外面の下部に流通路32と連通する流出管35を設けるようにして形成されている。また内壁31の内周面はサンドブラスト処理等の加工で粗面化されており、その粗度は10～1000μmに設定されている。そして内壁31の内周面を反応管2の外周に接触させるようにして外側電極1

を反応管 2 の外側に挿着されている。

【0072】反応管 2 の内部には外側電極 1 と対峙するように内側電極 3 が配設されており、外側電極 1 の内面と内側電極 3 の外面の間において反応管 2 の内部には放電空間 22 が形成されているが、外側電極 1 の下端は反応管 2 の底面部 18 の下面とほぼ同じ高さに形成されており、且つ内側電極 3 の下端は反応管 2 の底面部 18 の上面に当接されているので、放電空間 22 の下端と吹き出し口 21 の間の距離はほぼ 0 に形成されている。従って、活性の高い生きたプラズマ活性種を消滅させる前に、吹き出し口 21 からプラズマジェット 65 を吹き出して被処理物 7 に吹き付けることができ、被処理物 7 のプラズマ処理を高めることができる。

【0073】内側電極 3 は反応管 2 の形状に対応して反応管 2 の長手方向と同方向に長い矩形状に形成される中空の電極本体管 25 と、電極本体管 25 に突設される供給管部 80 及び排出管部 81 とから構成されており、電極本体管 25 の内部は供給管部 80 及び排出管部 81 と連通する流路部 29 として形成されている。内側電極 3 の長手方向の端部は反応管 2 の長手方向の端面から外側に突出されており、内側電極 3 の一方の端部には冷媒が供給される供給管部 80 が突設されていると共に内側電極 3 の他方の端部には冷媒が排出される排出管部 81 が突設されている。この内側電極 3 は外側電極 1 と同様の金属材料で形成されることが好ましく、また電極本体管 25 の外面は外側電極 1 と同様に粗面化されているのが好ましい。

【0074】さらに内側電極 3 の短手方向の長さは、1～20mm に設定するのが好ましい。内側電極 3 の短手方向の長さが 1mm 未満であれば、放電空間 22 の面する内側電極 3 の表面積が小さくなり過ぎて放電が起こりにくくなり、プラズマを充分に生成することができなくなる恐れがあり、内側電極 3 の短手方向の長さが 20mm を超えると、相対的に反応管 2 や外側電極 1 を大きくしなければならず、装置が大型化する恐れがある。また反応管 2 の内部で内側電極 3 の上方には整流板 101 が設けられており、ガス導入管 70 を通じて反応管 2 の内部に供給されたプラズマ生成用ガスの流れを整流板 101 で整えて放電空間 22 に供給することができるように形成されている。その他の構成は上記実施の形態と同様に形成されている。

【0075】このように形成されるプラズマ処理装置 A を用いてプラズマ処理をするにあたっては、上記の図 6 に示す実施の形態と同様に外側電極 1 及び内側電極 3 を冷媒によって冷却しながら行うことができる。まず、ガス導入管 70 を通じて反応管 2 の内部にプラズマ生成用ガスを導入する（矢印①）と共に、外側電極 1 と内側電極 3 の間に高周波などの交流電圧を印加し、さらにこれと同時に外側電極 1 及び内側電極 3 を冷媒によって冷却する。この後、外側電極 1 と内側電極 3 の間に印加され

た交流電界により大気圧下で反応管 2 の放電空間 22 でグロー放電を発生させ、グロー放電で反応管 2 の内部に導入されたプラズマ生成用ガスをプラズマ化し、このプラズマを図 9 に示すように、各吹き出し口 21 からプラズマジェット 65 として同時に吹き出して被処理物 7 の表面に吹きつけることによって、プラズマ処理を行うことができる。

【0076】このプラズマ処理装置 A では、プラズマジェット 65 が吹き出される吹き出し口 21 を複数個設けたので、被処理物 7 を水平面で移動させるようなテーブルを用いることなく、図 9 に示すように、プラズマ処理装置 A の下側に被処理物 7 をベルトコンベアなどの搬送装置 23 で搬送して通過させることによって、被処理物 7 の広範囲の複数箇所を同時に局所的に処理することができるものである。従って、装置を簡素化することができるものである。従って、電子部品のような部品に金属や樹脂がハイブリッドで複合された被処理物 7 においても、アーク（ストリーマ放電）が生じることなく個別にプラズマ処理することができるものである。

【0077】図 10 に他の実施の形態を示す。このプラズマ処理装置 A は図 3 のものにおいて、流入防止手段 5 を設けて形成されている。流入防止手段 5 は放電空間 22 における放電及びプラズマ生成用ガスの供給を停止してプラズマ処理を行っていない時に、有機物や湿気などの微量の不純物を含有する反応管 2 の外部の空気が、吹き出し口 21 から反応管 2 へ流入するのを防止するものである。流入防止手段 5 は蓋体 6 とこれを上下駆動させるシリンダーなどの駆動装置 33 で構成されており、駆動装置 33 のロッド 46 の上端に蓋体 6 が設けられている。そして蓋体 6 が吹き出し口 21 と対向するように反応管 2 の下側に配置されている。蓋体 6 の上面には反応管 2 の下端部の集束部 20 が挿入される収納凹部 41 が凹設されている。収納凹部 41 はすり鉢状であって断面略逆台形状に形成されており、収納凹部 41 の内周面には溝部 42 が全周に亘って凹設されていると共に、溝部 42 にはパッキン 102 が挿着されている。

【0078】上記のプラズマ処理装置 A でプラズマ処理を行う場合は、駆動装置 33 のロッド 46 を下動させて蓋体 6 を下動させることによって吹き出し口 21 を開放させ、吹き出し口 21 からプラズマジェット 65 を吹き出しようにする。またプラズマ処理を停止している場合は、駆動装置 33 のロッド 46 を上動させて蓋体 6 を上動させ、蓋体 6 の収納凹部 41 に反応管 2 の集束部 20 を収納すると共にパッキン 102 を集束部 20 の外周面に密着させ、吹き出し口 21 を蓋体 6 で閉塞するようにする。

【0079】プラズマ処理装置 A の停止時に、吹き出し口 21 を開放したままにしておくと、反応管 2 の外部の空気が吹き出し口 21 から反応管 2 内に侵入し、外部の空気に含有されている有機物や湿気などの微量の不純物

が反応管2の内面や内側電極3の外面に付着することになるが、反応管2の内面や内側電極3の外面に付着した不純物は、プラズマ処理装置Aの運転再開時（プラズマ処理の再開時）に放電により再脱着して、プラズマのラジカルの生成に悪影響（反応に寄与するラジカルを死活させる）を与えることがあり、このためにプラズマの生成が遅くなったりして通常のプラズマ生成量で運転を再開するまでに時間がかかることがあった。そこでこの実施の形態のプラズマ処理装置Aでは、プラズマ処理装置Aの停止時に反応管2の吹き出し口21を閉塞する蓋体6を設けることによって、プラズマ処理装置Aの停止時に、外部の空気が吹き出し口21から反応管2へ流入するのを防止し、運転再開時にプラズマの生成を速く効率よく行うことができるようにしたものである。

【0080】上記の流入防止手段5として蓋体6の代わりに、湿気や不純物が少ない（含有しない）乾燥空気を用いることができる。つまりプラズマ処理装置Aの停止時に吹き出し口21を開放した状態で、ガス導入管70から反応管2の内部に乾燥空気を供給し続けると共に反応管2の内部に供給した乾燥空気を吹き出し口21から吹き出し続けるようにするのである。このように反応管2に乾燥空気を供給し続けると共に供給した乾燥空気を吹き出し口21から吹き出し続けるようにすることによって、吹き出し口21から外部の空気が反応管2の内部に侵入するのを防止することができ、運転再開時にプラズマの生成を速く効率よく行うことができるものである。

【0081】また運転停止時に反応管2の内部に吸着した空気中の微量の不純物を除去することによっても、上記の悪影響を緩和することができる。運転停止時に反応管2の内部に吸着した空気中の微量の不純物を除去する手段としては、例えば、反応管2を加熱するヒーターを設けるのがよい。

【0082】図11に上記のプラズマ処理装置Aを用いたプラズマ処理システムを示す。10は支持アームであって、前支持片36と後支持片37とで構成されている。前支持片36の先端にはプラズマ処理装置Aを把持するための把持部38が設けられており、プラズマ処理装置Aは把持部38に把持させて設けられている。また前支持片36は後支持片37に出没自在に取り付けられており、このことで支持アーム10は伸縮自在に形成されている。また後支持片37は支柱39に上下動自在及び支柱39の周方向に回転自在に取り付けられており、このことで支持アーム10は支柱39に対して上下動可能及び回転可能に形成されている。

【0083】11は設置台であって、被処理物7を載せて搬送することができるベルトコンベアなどの搬送機で形成されている。またこの設置台11としては水平移動可能なテーブルなどで形成することもできる。12はカメラ等で形成される検知器であって、制御装置48を構

成するものであり、設置台11の上方に配設されており、被処理物7の位置合わせマーカー40を認識して被処理物7の水平位置を検出するものである。14はマイクロコンピュータ、マイクロプロセッサ、CPU、パーソナルコンピュータなどのコンピュータであって、制御装置48を構成するものであり、上記支持アーム10、支柱39、検知器12、設置台11に電気的に接続されている。

【0084】上記コンピュータ14には、プラズマ処理される被処理物7の被処理部分13の位置が予め入力されている。このことを被処理物7が図12に示すようなIC搭載回路基板である場合について説明する。8は回路基板であって、その四隅には位置合わせマーカー40が設けられている。また回路基板8の表面にはICなどの電子部品43が搭載されるダイ部44が設けられており、このダイ部44には複数個のボンディングパッド45がダイ部44の各辺に沿って並べて形成されている。また回路基板8の表面には複数個のボンディングパッド9が電子部品43を囲むように並べて形成されている。さらに回路基板8の表面には一対のランド47が形成されており、ランド47にはチップ抵抗などの電子部品43が半田49にて接合されている。

【0085】このようなIC搭載回路基板であって、電子部品43を囲むボンディングパッド9の表面処理をプラズマ処理で行う場合は、図12に示すように、電子部品43を囲むような線に沿って被処理部分13が形成されるが、この被処理部分13の開始点aと終点b及び複数の通過点c、d、eの位置が（X、Y）座標で表されてコンピュータ14に入力されている。つまり、所定の位置に位置合わせされたIC搭載回路基板の位置合わせマーカー40を基準としてIC搭載回路基板上にX軸とY軸からなる直角座標を想定し、開始点aの位置を（X1、Y1）、終点bの位置を（X5、Y5）、通過点c、d、eの位置をそれぞれ（X2、Y2）、（X3、Y3）、（X4、Y4）として座標で表してコンピュータ14に入力している。また上記コンピュータ14には被処理物7の被処理部分13の処理時間として、プラズマ処理装置Aからプラズマを吹き出す時間が予め入力されている。

【0086】このように形成されるプラズマ処理システムでIC搭載回路基板の被処理部分13をプラズマ処理するにあたっては、まず、設置台11で搬送されているIC搭載回路基板の位置合わせマーカー40が検知器12に検知されると、その検知信号がコンピュータ14に送られ、コンピュータ14がこの検知信号に基づいて設置台11に停止信号を送って設置台11を停止させ、IC搭載回路基板をプラズマ処理装置Aの下方の所定の位置にセットする。

【0087】次に、コンピュータ14からの信号でプラズマ処理装置Aを作動させると共にプラズマジェット6



5を吹き出させながらプラズマ処理装置Aを被処理部分13の上方で移動させる。プラズマ処理装置Aは、開始点aから通過点c、d、eをこの順で通過して終点bに到達するように移動するが、この移動はコンピュータ14が予め入力された各点の座標に基づいて支持アーム10を伸縮させたり支持アーム10を支柱39に対して回転させたりして支持アーム10や支柱39を制御することによって行われる。次に、処理時間が経過するとコンピュータ14からプラズマ処理装置Aに信号が送られてプラズマジェット65の吹き出しが終点bの位置で停止される。このようにして複数枚のIC搭載回路基板を設置台11で順次送りながら連続的にプラズマ処理を行うことができる。

【0088】上記のようなプラズマ処理システムを用いることによって、プラズマ処理が電子部品43の周囲のボンディングパッド9にのみ限定されて施されることになり、プラズマ処理の不要な他の部分、例えば、電子部品43、48や半田49や樹脂の部分にプラズマ処理の影響が少なくなってダメージを小さくすることができる。特に、樹脂や半田などの耐熱性に乏しい部分を有する被処理物7には有効である。さらに250℃以下のプラズマジェットでは、ICチップなどの電子部品43、48のチャージアップダメージがほとんど生じないようにすることができる。また上記のプラズマ処理システムは、開始点aと終点b及び複数の通過点c、d、eの座標の値を代えることによって、例えば、電子部品43の搭載前におけるダイ部44のボンディングパッド45の表面処理やランド47の表面処理などに簡単に処理内容を変更することができる。

【0089】また本発明により、フラックスを用いなくて半田接合を行うこともできる。本来、フラックスは半田の表面に生じた酸化物層が接合に悪影響を及ぼすため、これを除去する役割をするものであるが、フラックスが基板に残存するために、洗浄を施す必要がある。これに対して本発明において、水素及びフッ素含有ガスを混合したプラズマにより該酸化物層を除去することにより、全くフラックスを用いなくて半田接合を行うことができる（後述の実施例12を参照）。

【0090】図13に他のプラズマ処理システムを示す。71はポンペであって、プラズマ生成用ガスが種類毎に分けて複数本のポンペ71に貯蔵されている。この実施の形態では三本のポンペ71を用いており、そのうち一本はヘリウムガスを、他の一本はアルゴンガスを、さらに他の一本は $O_2$ や $H_2$ や $CF_4$ などの反応性を有するガス（プラズマ活性種）をそれぞれ貯蔵している。各ポンペ71は接続管72を介して一つのみキサー103にそれぞれ接続されている。各接続管72には一次バルブ73、一次圧力計74、二次バルブ75、二次圧力計76、供給量制御器77が設けられている。一次バルブ73は制御装置48を構成する後述のコンピュータなど

のコンピュータ14により開閉が制御可能に形成されており、プラズマ処理装置Aで異常な温度が感知された場合にコンピュータ14からの指示により閉まって接続管72の導通を遮断するものである。供給量制御器77はみキサー103に供給されるプラズマ生成用ガスの量を調整するものである。みキサー103は各ポンペ71から供給される複数種のプラズマ生成用ガスを混合するものである。上記のみキサー103はガス配管78を介して反応管2のガス導入管70に接続されている。ガス配管78の途中には逆火防止弁79が設けられており、プラズマ処理装置Aで火災が起きた場合に、ガス配管78を通じて火がみキサー103に到達しないようにこの逆火防止弁79で火を遮断するのである。

【0091】82は冷媒を冷却する冷凍機であって、送出管83と返送管84を介してタンク85に接続されている。タンク85には導出管86の一端が接続されており、導出管86の途中には循環手段4であるポンプ87が設けられている。導出管86の他端には分岐器88が設けられており、分岐器88には供給管接続管89と流入管接続管90が接続されている。供給管接続管89はプラズマ処理装置Aの内側電極3の供給管26に、また流入管接続管90はプラズマ処理装置Aの外側電極1の流入管34にそれぞれ接続されている。尚、このシステムのプラズマ処理装置Aは図3の同様のものであるが、外側電極1の流入管34と流出管35の上下の位置関係は逆に形成されている。

【0092】91は流出管接続管であって、その一端がプラズマ処理装置Aの外側電極1の流出管35に、他端は混合器92にそれぞれ接続されている。93は排出管部接続管であって、その一端は内側電極3の電極本体管25の排出管部27に、他端は上記の混合器92にそれぞれ接続されている。混合器92は導入管100により上記のタンク85に接続されており、導入管100の途中には冷媒の導入管100に流れる冷媒の温度を測定する熱電対温度計94が設けられている。この熱電対温度計94はプラズマ処理装置Aの制御装置48を構成するものである。

【0093】15は高周波発生器等で形成される電源であり、給電線95を介してプラズマ処理装置Aの外側電極1に電氣的に接続されており、また給電線95の途中には自動同調カップラー96が設けられている。自動同調カップラー96は回路のインピーダンスの整合を自動的に図るものである。97は制御装置48を構成する赤外線温度計であり、プラズマ処理装置Aの外側電極1の温度と被処理物7の処理部分の温度を測定するものである。14は前述のコンピュータであって、プラズマ処理装置Aの制御装置48を構成するものである。またコンピュータ14は上記の熱電対温度計94と赤外線温度計97と入力線98で電氣的に接続されており、熱電対温度計94と赤外線温度計97での温度測定結果が入力線



98を介して入力されるようになっている。またコンピュータ14は予めプログラミングされた手順に従って、被処理物7を搬送するベルトコンベア等の搬送装置23の搬送動作、プラズマ処理装置Aの下側に配設されるXYテーブル99の駆動動作、一次バルブ73の開閉動作、ポンプ87による冷媒の流量調整動作、電源15における高周波発生量調整動作や周波数調整動作、処理時間などを自動的に制御するものである。尚、外側電極1及び自動同調カップラー96からの回路と外側電極1が接続される部分は、腐食するとインピーダンスの不整合が生じるので、耐腐食性の材料、例えば金メッキ等を施すのが好ましい。

【0094】上記のプラズマ処理システムで被処理物7のプラズマ処理を行うにあたっては、次のようにする。まずポンプ87で冷媒を冷凍機82とプラズマ処理装置Aの間で循環させる。つまり、冷凍機82から送出管83を介して冷却された冷媒をタンク85に導入し、タンク85から導出管86を介して分岐器88に冷媒を供給し、分岐器88で冷媒を供給管接続管89と流入管接続管90に分岐して導入し、供給管接続管89から冷媒をプラズマ処理装置Aの供給管26に供給すると共に流入管接続管90から流入管34に冷媒を供給する。供給管26に供給された冷媒は内側電極3の流路部29を通過して排出管部27から排出され、排出管部接続管93を介して混合器92に導入される。一方、流入管34に供給された冷媒はプラズマ処理装置Aの外側電極1の流路部32を通過して流出管35から排出され、流出管接続管91を介して混合器92に導入される。この後、冷媒は混合器92から導入管100を介してタンク85に導入され、返送管84を介して冷凍機82に返送される。

【0095】上記のように冷媒を循環させた後、プラズマ処理装置Aにプラズマ生成用ガスを導入する。つまり、一次バルブ73と二次バルブ75を開いた状態にしてポンプ71から接続管72を介してミキサー103に各種のプラズマ生成用ガスを供給し、ミキサー103でプラズマ生成用ガスを混合した後、ガス配管78を介してガス導入管70に混合したプラズマ生成用ガスを供給し、ガス導入管70から反応管2の放電空間22にプラズマ生成用ガスを導入するのである。

【0096】上記のようにプラズマ生成用ガスを放電空間22に導入した後、電源15で発生させた高周波電圧を外側電極1に印加し、放電空間22に高周波電界を印加する。尚、内側電極3は接地されている。そして放電空間22に高周波電界を印加することによって、放電空間22に導入されたプラズマ生成用ガスがプラズマ化されて反応管2の吹き出し口21からプラズマジェット65として吹き出すようにする。

【0097】上記のようにして生成したプラズマジェット65が一定の出力になると、搬送装置23を駆動させ、図12と同様の前工程を終了した被処理物7をXY

テーブル99の近傍にまで搬送する。次に、図14に示すように、搬送装置23からXYテーブル99の上に被処理物7を移して吹き出し口21の下側にセットする。次に、XYテーブル99を水平面で移動させて被処理物7の所望の箇所にプラズマジェット65を吹き付けてプラズマ処理を行う。この後、処理済みの被処理物7をXYテーブル99から搬送装置23に移し、次工程へと搬送する。

【0098】上記のようにプラズマ処理を行っている間、冷媒の温度が熱電対温度計94で常に測定されると共に外側電極1及び被処理物7の温度が赤外線温度計97で測定されており、これら測定結果はコンピュータ14に入力されている。そして冷媒や外側電極1の温度が高すぎれば、ポンプ87による冷媒の流量や冷凍機82による冷媒の冷却能力を上げるようにコンピュータ14で制御し、また冷媒の温度が低すぎれば、ポンプ87による冷媒の流量や冷凍機82による冷媒の冷却能力を下げるようにコンピュータ14で制御する。また冷媒や外側電極1や被処理物7の温度が異常に高くなれば、一次バルブ73を閉めて反応管2へのプラズマ生成用ガスの供給を遮断したり、また電源15での高周波の発生を遮断したり、搬送装置23での被処理物7の搬送を停止したりするようにコンピュータ14で制御する。

【0099】尚、本システムには図示されていないが、一連の処理が終了し、プラズマ生成を停止させた後に、図10に示した流入防止手段5の蓋体6の収納凹部41に反応管2の集束部20の先端を埋入し、次の運転を再開するまで吹き出し口21から外部の空気が反応管2の内部に混入しないような状態で休止させることができる。

【0100】

【実施例】以下、本発明を実施例によって詳述する。

【0101】（実施例1）図1に示すプラズマ処理装置Aを用いてプラズマ処理を行った。外側電極1としてはステンレス製のメッシュを用い、これを反応管2の外周に巻き付けた。この外側電極1の反応管2側の面の粗度Raは1000 $\mu$ mであった。反応管2としては石英製の円管（誘電率が3.6）を用いた。内側電極3としては電極本体管25と供給管26で構成される二重管であって、ともにステンレス製のものを用いた。冷媒としては純水を用いた。被処理物7としては厚み30 $\mu$ mのカプトンフィルム（東レデュポン製のポリイミドフィルム）を用いた。プラズマ生成用ガスとしては不活性ガスであるヘリウムとアルゴン及び反応ガスの酸素の混合気体を用い、ヘリウムの流量を1リットル/分、アルゴンの流量を1リットル/分、酸素の流量を100cc/分と設定した。また反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の流速は5m/秒であった。

【0102】そして外側電極1に冷却した空気を吹き付けて空冷し、内側電極3を冷媒によって冷却しながら、

内側電極3を接地し、外側電極1に高周波（周波数が13.56MHz、印加電力が250W）を印加することによってプラズマを生成し、吹き出し口21から吹き出されるプラズマジェット65にて上記被処理物7のエッチングを行った。反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の温度は120℃であった。尚、このプラズマジェット65の温度は高周波ノイズを除去する回路を有する熱電対で測定した。そしてプラズマ処理にて被処理物7に孔が貫通するまでの時間を測定し、この結果からエッチング速度を求めると、20μm/分であった。また被処理物7には熱的損傷及びストリーマー放電による損傷は見られなかった。

【0103】（実施例2）図3に示すプラズマ処理装置Aを用いてプラズマ処理を行った。外側電極1としては図4に示す構造のもので銅製の円管物を用い、これを反応管2の外周に挿着した。反応管2に密着させた外側電極1の内面は粗度Raが100μmになるようにサンドブラストで加工されていた。反応管2としてはアルミ製の円管（誘電率が9.7）を用いた。内側電極3としては電極本体管25と供給管26で構成される二重管であって、ともに銅製のものを用いた。冷媒としては純水とエチレングリコールを1:1で混合した混合溶液を用いた。被処理物7としては厚み30μmのカプトンフィルム（東レデュボン製のポリイミドフィルム）を用いた。プラズマ生成用ガスとしては不活性ガスであるヘリウムとアルゴン及び反応ガスのCO<sub>2</sub>の混合気体を用い、ヘリウムの流量を1リットル/分、アルゴンの流量を2リットル/分、CO<sub>2</sub>の流量を100cc/分と設定した。また反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の流速は8m/秒であった。

【0104】そして外側電極1と内側電極3を冷媒によって冷却しながら、内側電極3を接地し、外側電極1に高周波（周波数が100kHz、印加電力が300W）を印加することによってプラズマを生成し、吹き出し口21から吹き出されるプラズマジェット65にて上記被処理物7のエッチングを行った。反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の温度は120℃であった。そしてプラズマ処理にて被処理物7に孔が貫通するまでの時間を測定し、この結果からエッチング速度を求めると、21μm/分であった。また被処理物7には熱的損傷及びストリーマー放電による損傷は見られなかった。

【0105】（実施例3）図3に示すプラズマ処理装置Aを用いてプラズマ処理を行った。外側電極1としては図4に示す構造のもので真鍮製の円管物を用い、これを反応管2の外周に挿着した。反応管2に密着させた外側電極1の内面は粗度Raが50μmになるようにサンドブラストで加工されていた。反応管2としてはマグネシア製の円管（誘電率が8.9）を用いた。内側電極3としては電極本体管25と供給管26で構成される二重管であって、ともに銅製のものを用いた。冷媒としてはバ

ーフルオロカーボン溶液を用いた。被処理物7としてはシリコンウェハーに厚さ2μmのネガレジスト（東京応化製のOMR83）を塗布して形成したものを用いた。プラズマ生成用ガスとしては不活性ガスであるヘリウムとアルゴンの混合気体を用い、ヘリウムの流量を1リットル/分、アルゴンの流量を2リットル/分と設定した。また反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の流速は10m/秒であった。

【0106】そして外側電極1と内側電極3を冷媒によって冷却しながら、内側電極3を接地し、外側電極1に高周波（周波数が13.56MHz、印加電力が400W）を印加することによってプラズマを生成し、吹き出し口21から吹き出されるプラズマジェット65にて上記被処理物7のネガレジストの剥離を行った。反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の温度は100℃であった。そして段差計（Sloan Technology社製のDEKTAKIIA）にて処理部分と被処理部分の深さ分布を測定した結果から剥離速度を求めると、1.5μm/分であった。また被処理物7には熱的損傷及びストリーマー放電による損傷は見られなかった。

【0107】（実施例4）図3に示すプラズマ処理装置Aを用いてプラズマ処理を行った。外側電極1としては図4に示す構造のもので真鍮製の円管物を用い、これを反応管2の外周に挿着した。反応管2としてはイットリウム部分安定化ジルコニウム製の円管（誘電率が11.0）を用いた。内側電極3としては電極本体管25と供給管26で構成される二重管であって、ともに銅製のものを用いた。冷媒としてはハイドロフルオロエーテルを用いた。被処理物7としてはシリコンウェハーにCu<sub>2</sub>O膜をスパッタ蒸着して形成したものを用いた。プラズマ生成用ガスとしては不活性ガスであるヘリウムとアルゴンの混合気体を用い、ヘリウムの流量を1リットル/分、アルゴンの流量を2リットル/分と設定した。また反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の流速は15m/秒であった。

【0108】そして外側電極1と内側電極3を冷媒によって冷却しながら、内側電極3を接地し、外側電極1に高周波（周波数が15kHz、印加電力が300W）を印加することによってプラズマを生成し、吹き出し口21から吹き出されるプラズマジェット65にて上記被処理物7のCu<sub>2</sub>OのCuへの還元を行った。反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の温度は80℃であった。そしてX線光電子分光分析法（XPS）による被処理物7の表面分析を行った結果から還元速度を求めると、0.2μm/分であった。また被処理物7には熱的損傷及びストリーマー放電による損傷は見られなかった。

【0109】（実施例5）被処理物7として図12に示すようなIC搭載回路基板を用いた。このIC搭載回路基板は次のようにして作成した。まず、ガラスエポキシ

基板の表面に電解金めつきを施して厚み $0.5\mu\text{m}$ の回路（ボンディングパッド9を含む）を形成して回路基板8を形成した。次に、この回路基板8にクリーム半田をスクリーン印刷し、クリーム半田にチップ抵抗を搭載してリフロー炉でチップ抵抗を回路基板8に接合した。さらに、回路基板8の表面にエポキシ系銀パラジウム接着剤（日本エーブルスティック製の84-1MI）を塗布し、ICをダイマウンターでマウントし、 $175^{\circ}\text{C}$ 、

1. 5時間の加熱によって接着剤を硬化させて回路基板8にIC（電子部品43）を搭載した。このICはプラズマ処理によるチャージアップダメージ（給電時における損傷）を評価するために、シリコン基板の上に、厚み $10\text{nm}$ の $\text{SiO}_2$ 層と厚み $300\text{nm}$ のポリシリコンを形成したチップを用いた。

【0110】この被処理物7のボンディングパッド9を図11に示すプラズマ処理システムでプラズマ処理して表面の洗浄をした。プラズマ処理装置Aとしては実施例3と同様のものを用いた。また処理開始以前に、所定の位置に位置合わせされたIC搭載回路基板の位置合わせマーカー40を基準としてIC搭載回路基板上にX軸とY軸からなる直角座標を想定し、回路基板8の角部に略対応する位置において、開始点aの位置を（X1, Y1）、終点bの位置を（X5, Y5）、通過点c、d、eの位置をそれぞれ（X2, Y2）、（X3, Y3）、（X4, Y4）として座標で表してコンピュータ14に入力した。またプラズマ処理装置Aからプラズマを吹き出す時間を予めコンピュータ14に入力した。

【0111】そしてまず、位置合わせマーカー40の位置を検出器（画像処理装置）12で認識して、被処理物7を正確に所定の位置まで設置台11にて搬送した。次に、プラズマを吹き出させながらプラズマ処理装置Aを被処理部分13の上方で移動させた。つまり、プラズマ処理装置Aは開始点aから通過点c、d、eをこの順で通過して終点bに到達するように移動させ、その速度は毎秒 $2\text{cm}$ とした。プラズマ生成用ガスとしては不活性ガスであるヘリウムとアルゴン及び反応ガスの酸素の混合気体を用い、ヘリウムの流量を $1\text{リットル/分}$ 、アルゴンの流量を $1\text{リットル/分}$ 、酸素の流量を $50\text{cc/分}$ と設定した。また外側電極1への高周波の印加条件を、周波数が $100\text{kHz}$ 、印加電力が $200\text{W}$ と設定した。

【0112】そしてX線光電子分光分析法（XPS）による被処理物7のボンディングパッド9の表面分析を行った結果、処理前は $30\text{nm}$ の深さまで炭素が確認されたが、処理後には $3\text{nm}$ 以下の深さで炭素が確認され、ボンディングパッド9の炭素が減少していた。

【0113】（実施例6）プラズマ生成用ガスとして不活性ガスであるヘリウムとアルゴンの混合気体を用い、ヘリウムの流量を $1\text{リットル/分}$ 、アルゴンの流量を $1\text{リットル/分}$ と設定し、また外側電極1への高周波の印

加条件を、周波数が $13.56\text{MHz}$ 、印加電力が $200\text{W}$ と設定した。これら以外は実施例5と同様にしてプラズマ処理を行った。

【0114】そしてX線光電子分光分析法（XPS）による被処理物7のボンディングパッド9の表面分析を行った結果、処理前は $30\text{nm}$ の深さまで炭素が確認されたが、処理後には $3\text{nm}$ 以下の深さで炭素が確認され、ボンディングパッド9の炭素が減少していた。

【0115】（実施例7）実施例5と同様の回路基板8の回路（ボンディングパッド9を含む）に無電解フラッシュ金メッキを厚み $0.05\mu\text{m}$ で施し、 $175^{\circ}\text{C}$ 、1. 5時間加熱した。これ以外は実施例5と同様にして被処理物7を形成した。またプラズマ生成用ガスとして不活性ガスであるヘリウムと反応ガスである $\text{H}_2$ の混合気体を用い、ヘリウムの流量を $1\text{リットル/分}$ 、 $\text{H}_2$ の流量を $50\text{cc/分}$ と設定し、また外側電極1への高周波の印加条件を、周波数が $13.56\text{MHz}$ 、印加電力が $300\text{W}$ と設定した。これら以外は実施例5と同様にして上記被処理物7のプラズマ処理を行った。

【0116】そしてX線光電子分光分析法（XPS）による被処理物7のボンディングパッド9の表面分析を行った結果、処理前はニッケル水酸化物及びニッケル酸化物のピークが主体であったが、処理後には金属ニッケルに基づくピークのみであって、ボンディングパッド9のニッケル水酸化物及びニッケル酸化物が減少していた。

【0117】（実施例8）プラズマ生成用ガスとして不活性ガスであるヘリウムとアルゴンの混合気体を用い、ヘリウムの流量を $1\text{リットル/分}$ 、アルゴンの流量を $2\text{リットル/分}$ と設定し、また外側電極1への高周波の印加条件を、周波数が $15\text{kHz}$ 、印加電力が $100\text{W}$ と設定した。これら以外は実施例7と同様にしてプラズマ処理を行った。

【0118】そしてX線光電子分光分析法（XPS）による被処理物7のボンディングパッド9の表面分析を行った結果、処理前はニッケル水酸化物及びニッケル酸化物のピークのみであったが、処理後には金属ニッケルに基づくピークのみであって、ボンディングパッド9のニッケル水酸化物及びニッケル酸化物が減少していた。

【0119】（実施例9）アルミナ基板に銀パラジウムペーストをスクリーン印刷し、これを焼き付けして回路（ボンディングパッド9を含む）を形成した。これ以外は実施例5と同様にして被処理物7を形成した。またプラズマ生成用ガスとして不活性ガスであるヘリウムとアルゴン及び反応ガスの $\text{H}_2$ の混合気体を用い、ヘリウムの流量を $1\text{リットル/分}$ 、アルゴンの流量を $1\text{リットル/分}$ 、 $\text{H}_2$ の流量を $50\text{cc/分}$ と設定し、また外側電極1への高周波の印加条件を、周波数が $15\text{kHz}$ 、印加電力が $100\text{W}$ と設定した。これら以外は実施例5と同様にして上記被処理物7のプラズマ処理を行った。

【0120】そしてX線光電子分光分析法（XPS）に

よる被処理物7のボンディングパッド9の表面分析を行った結果、処理前は酸化銀のピークが確認されたが、処理後にはこのピークは金属銀に変化しており、ボンディングパッド9の酸化銀が減少していた。

【0121】(実施例10) プラズマ生成用ガスとして不活性ガスであるヘリウムを用い、ヘリウムの流量を2リットル/分と設定し、また外側電極1への高周波の印加条件を、周波数が100kHz、印加電力が100Wと設定した。これら以外は実施例9と同様にしてプラズマ処理を行った。

【0122】そしてX線光電子分光分析法(XPS)による被処理物7のボンディングパッド9の表面分析を行った結果、処理前は酸化銀のピークが確認されたが、処理後にはこのピークは金属銀に変化しており、ボンディングパッド9の酸化銀が減少していた。

【0123】(実施例11) 図5に示すプラズマ処理装置Aを用いてプラズマ処理を行った。外側電極1としては図4に示す構造のもので銅製の円管物を用い、これを石英製の上筒部2aと下筒部2bの間に挟んで接合するようにして反応管2を形成した。外側電極1の内面は粗度Raが50μmになるようにサンドブラストで加工されていた。内側電極3としては電極本体管25と供給管26で構成される二重管であって、ともに銅製のものを用いた。冷媒としてはパーフルオロエチレン液を用いた。被処理物7としては厚み50μmのカプトンフィルム(東レデュポン製のポリイミドフィルム)を用いた。プラズマ生成用ガスとしては不活性ガスであるヘリウムと反応ガスである酸素の混合気体を用い、ヘリウムの流量を3リットル/分、酸素の流量を150cc/分と設定した。また反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の流速は25m/秒であった。

【0124】そして外側電極1と内側電極3を冷媒によって冷却しながら、内側電極3を接地し、外側電極1に高周波(周波数が200MHz、印加電力が200W)を印加することによってプラズマを生成し、吹き出し口21から吹き出されるプラズマジェット65にて上記被処理物7のエッチングを行った。反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の温度は125℃であった。そしてプラズマ処理にて被処理物7に孔が貫通するまでの時間を測定し、この結果からエッチング速度を求めると、35μm/分であった。また被処理物7には熱的損傷及びストリーマー放電による損傷は見られなかった。

【0125】(実施例12) 被処理物7としては半導体チップとNi/Auメタライズ基板を用い、半導体チップに形成されたSn-Ag半田バンプの表面、及びNi/Auメタライズ基板のメタライズ部分を被処理部分13とした。そしてこれら被処理部分13を実施例5と同様のプラズマ処理システムでプラズマ処理した。プラズマ生成用ガスとして不活性ガスであるヘリウムとアルゴン及び反応ガスのO<sub>2</sub>とCF<sub>4</sub>の混合気体を用い、ヘリウ

ムの流量を0.5リットル/分、アルゴンの流量を0.5リットル/分、O<sub>2</sub>の流量を25cc/分、CF<sub>4</sub>の流量を25cc/分と設定し、また外側電極1への高周波の印加条件を、周波数が2.45GHz、印加電力が500Wと設定し、さらにプラズマ処理時間を10秒と設定した。これら以外は実施例5と同様にしてプラズマ処理を行った。

【0126】そしてプラズマ処理された半導体チップとNi/Auメタライズ基板を大気中で位置合わせし、H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>雰囲気中(酸素濃度80ppm)でベルト炉で230℃の条件でリフローを行った。その結果、プラズマ処理前では半導体チップとNi/Auメタライズ基板は接合することができなかったが、プラズマ処理後では良好な接合強度が得られた。

【0127】(実施例13) 被処理物7として実施例3と同様の、シリコンウェハに厚さ2μmのネガレジスト(東京応化製のOMR83)を塗布して形成したものをを用いた。この被処理物7を図7に示すプラズマ処理装置Aを用いてプラズマ処理(エッチング)を行った。外側電極1及び内側電極3はともにステンレス製であって、反応管2に密着させた外側電極1の内面及び内側電極3の外表面は粗度Raが50μmになるようにサンドブラストで加工されていた。また内側電極3の外表面には厚さ50μmのSiO<sub>2</sub>の被膜がプラズマCVD法で均一に形成した。反応管2としては石英製のものを用いた。冷媒としてはパーフルオロカーボン溶液を用い、これを外側電極1と内側電極3の両方に循環させて冷却した。プラズマ生成用ガスとしては不活性ガスであるヘリウムとアルゴンと酸素の混合気体を用い、ヘリウムの流量を1リットル/分、アルゴンの流量を3リットル/分、酸素の流量を30cc/分と設定した。また反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の流速は10m/秒であった。

【0128】そして外側電極1と内側電極3を冷媒によって冷却しながら、内側電極3を接地し、外側電極1に高周波(周波数が60MHz、印加電力が300W)を印加することによってプラズマを生成し、吹き出し口21から吹き出されるプラズマジェット65にて上記被処理物7のネガレジストの剥離を行った。そして段差計

(Sloan Technology社製のDEKTAKIIA)にて処理部分と被処理部分の深さ分布を測定した結果からエッチング速度を求めると、5.0μm/分であった。また被処理物7には熱的損傷及びストリーマー放電による損傷は見られなかった。

【0129】(実施例14) 被処理物7としてOMPA C(Over Molded Pad Array Carrier)型BGA(Ball Grid Array)基板を使用した。これは0.5mmの厚みのBT(ビスマレイミドトリアジン)基板に太陽インキ製レジスト(PSR-4000AUS5)を40μmの厚みに塗布したものである。基板のサイズは50×200mmであった。

このBGA基板の一部分にはボンディングパッドを含む金メッキ回路部が形成され、更に実施例5と同様のICチップが搭載されている。この基板を図8に示すプラズマ処理装置を使用し、図9に示す装置によりプラズマ処理を行った。搬送装置23の搬送速度は2cm/秒であった。プラズマ生成用ガスとしては不活性ガスであるヘリウムとアルゴン及び反応ガスの酸素の混合気体を用い、ヘリウムの流量を3リットル/分、アルゴンの流量を5リットル/分、酸素の流量を100cc/分と設定した。

【0130】そして、外側電極1と内側電極3をイオン交換水の循環によって冷却し、内側電極3を接地し、外側電極1に高周波(13.56MHz, 500W)を印加することによってプラズマを生成させ、吹きだし口21から吹き出されるプラズマジェットにて被処理物7を連続的に処理した。

【0131】このように処理した基板について処理前と性能を比較した。処理前ではレジスト部の水の接触角は80度であったが、処理後は8度に低下し、表面が親水性に改質された。また金メッキボンディングパッド部とICとをワイヤボンディングした結果、表1に示すように、著しい性能の向上が確認された。

【0132】そして、X線光電子分光分析法(XPS)による被処理物のボンディングパッド部の表面分析を行った結果、処理前は50ナノメートルの深さまで炭素が認められたが、処理後は3ナノメートル以下まで炭素が減少している事が確認された。さらに、基板にプラスチック製封止樹脂(SMT-B-1)をその底面積が1cm<sup>2</sup>になるようにプリン状に成形し、封止樹脂の基板との剪断剥離強度を測定した結果、処理前の基板は2MPaであったが、処理後は10MPaと大きく強度が向上した。また、ICのチャージアップダメージもなかった。

【0133】(実施例15)図10に示すような蓋体6を有する流入防止手段5で、運転停止時に吹き出し口21を閉塞した以外は、実施例3と同様にしてネガレジスト(東京応化製のOMR83)のエッチングを行った。

【0134】運転停止時に蓋体6を被せていない場合は、エッチング速度が定常に達するまでに10分間かかったが、運転停止時に蓋体6を被せた場合は、1分以内でエッチング速度が定常状態に達した。

【0135】(比較例1)電極1, 3を冷却しなかった以外は、実施例1と同様にしてプラズマ処理を行った。またプラズマ処理中に図16のようなストリーマー放電が発生し、被処理物7を均質にエッチングすることができなかった。また内側電極3の表面は酸化されて黒変していた。

【0136】(比較例2)冷媒によって外側電極1と内側電極3を冷却せず、且つ印加電力を250Wにした以外は、実施例3と同様にしてプラズマ処理を行った。尚、250W以上の電力は電極の熱溶解等が生じるため

印加することができなかった。反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の温度は340℃であった。そして実施例3と同様にネガレジストの剥離を試みたが、ネガレジストが炭化して剥離することができなかった。

【0137】(比較例3)冷媒によって外側電極1と内側電極3を冷却せず、且つ印加電力を250Wにした以外は、実施例4と同様にしてプラズマ処理を行った。尚、250W以上の電力は電極の熱溶解等が生じるため印加することができなかった。反応管2から吹き出されるプラズマジェット65の温度は340℃であった。そして実施例4と同様にCu<sub>2</sub>OのCuへの還元を試みたが、シリコンウェハーが空気中で加熱されて酸化が生じて黒変した。

【0138】(比較例4)実施例5と同様の被処理物7を図15に示す従来のプラズマ処理装置で処理した。50は反応槽であって、その内部には上部電極51と下部電極52が対向して配置されている。また反応槽50の上面には絶縁物53が装着されており、この絶縁物53を貫通する配線62にて上部電極51と交流電源54が接続されている。尚、交流電源54は接地されている。また反応槽50の下面には絶縁物55が装着されており、この絶縁物55を貫通する配線61にて下部電極52は接地されている。また下部電極52の上面には固体誘電体59が設けられている。さらに反応槽50の上部にはガス導入口56が設けられていると共に反応槽50の下部にはガス導出口57が設けられている。

【0139】そして固体誘電体59の上に被処理物7を載せ、ガス導入口56からプラズマ生成用ガスを導入すると共に上部電極51と下部電極52の間に交流を印加してプラズマ処理を行った。プラズマ生成用ガスとしては実施例5と同組成の混合気体を用い、各ガスの流量も実施例5にした。また下部電極52への高周波の印加条件も実施例5の外側電極1への印加条件と同様に設定した。さらに反応槽50内の圧力を760Torr、処理時間2分とした。

【0140】X線光電子分光分析法(XPS)による被処理物7のボンディングパッド9の表面分析を行った結果、処理前は30nmの深さまで炭素が確認され、処理後にも10nmの深さまで炭素が確認され、実施例5よりも処理効果が低いことが確認された。

【0141】(比較例5)実施例7と同様の被処理物7を図15に示す従来のプラズマ処理装置を用いて比較例4と同様に処理した。プラズマ生成用ガスとしては実施例7と同組成の混合気体を用い、各ガスの流量も実施例7にした。また下部電極52への高周波の印加条件も実施例7の外側電極1への印加条件と同様に設定した。さらに反応槽50内の圧力を760Torr、処理時間2分とした。

【0142】X線光電子分光分析法(XPS)による被処理物7のボンディングパッド9の表面分析を行った結

果、処理後にもニッケル水酸化物及びニッケル酸化物のピークが確認され、実施例7よりも処理効果が低いことが確認された。

【0143】（比較例6）実施例10と同様の被処理物7を図15に示す従来のプラズマ処理装置を用いて比較例4と同様に処理した。プラズマ生成用ガスとしては実施例10と同組成の混合気体を用い、各ガスの流量も実施例10にした。また下部電極52への高周波の印加条件も実施例10の外側電極1への印加条件と同様に設定した。さらに反応槽50内の圧力を760 Torr、処理時間2分とした。

【0144】X線光電子分光分析法（XPS）による被処理物7のボンディングパッド9の表面分析を行った結果、処理後にも一部酸化銀のピークが確認され、実施例10よりも処理効果が低いことが確認された。

【0145】（比較例7）上記実施例5乃至9において、冷媒による外側電極1と内側電極3の冷却を行わない以外は、各実施例と同条件でプラズマ処理を行ったところ、被処理物7が熱のために破損した。

【0146】次に、実施例6乃至10、13及び比較例4乃至6で処理された被処理物7において、ICとボンディングパッド9をカイジョー製のワイヤボンダー（F P-118AP）にてワイヤボンディング接合した。接合条件は0.7W、20msec、150℃の条件であった。このように接合されたワイヤボンド強度（接合強度）と取れモードを評価した。取れモードBはワイヤと半田ボールとの間で切れたことを示す。取れモードCはワイヤの中央部分で切れたことを示す。取れモードDはワイヤとボンディングパッド9の界面で剥離したことを示す。取れモードEはワイヤがボンディングパッド9に接合されなかったことを示す。またICのチャージアップダメージを評価するために、シリコン基板の上に、厚み10nmのSiO<sub>2</sub>層と厚み300nmのポリシリコン（多結晶シリコン）を形成したチップを用い、電流密度1nA/10μm<sup>2</sup>で破壊判定電圧V<8ボルトとした。結果を表1に示す。

【0147】

【表1】

	XPSによる表面分析結果	ワイヤボンド強度(g)		取れモード		チャージアップダメージによる不良率(%)
		処理前	処理後	処理前	処理後	
実施例5	表面の炭素がほぼ完全に除去される	5.1	11.8	E	C	0
実施例6			12.6		C	0
比較例4			7.8		D	5
実施例7	表面のニッケル化合物の大半が除去され、残存するニッケル化合物も処理前のニッケル酸化物・水酸化物が金属ニッケルに変化	接合せず	10.8	E	C	0
実施例8			11.6		B	0
比較例5			4.5		D	7
実施例9	酸化銀が銀に変化	2.8	8.9	E	C	0
実施例10			9.2		B	0
比較例6			3.8		D	6
実施例13	金パッド部分の炭素がほぼ完全に除去される	5.1	12.2	E	C	0

【0148】表1から明らかなように、本発明の実施例5、6あるいは実施例7、8、あるいは実施例9、10、13で処理した場合、比較例4、5、6で処理するよりも、ワイヤボンド強度や取れモードが向上し、チャージアップダメージによる不良率も大幅に少なくなった。

【0149】

【発明の効果】上記のように本発明の請求項1に記載の発明は、外側電極を備えた筒状の反応管、及び反応管の内部に配置される内側電極を具備して構成され、反応管

に不活性ガスまたは不活性ガスと反応ガスの混合気体を導入すると共に外側電極と内側電極の間に交流電界を印加することにより大気圧下で反応管の内部にグロー放電を発生させ、反応管からプラズマジェットを吹き出すようにするプラズマ処理装置において、外側電極と内側電極に冷却手段を設けるので、冷却手段で外側電極と内側電極の両方を冷却手段で冷却することによって、大気圧下で周波数及び出力の高い交流でプラズマを生成しても、外側電極と内側電極の両方の温度上昇を抑えることができ、プラズマの温度が高くないようにすること

ができて被処理物の熱的損傷を少なくすることができるものであり、また均質なグロー放電を生成してストリーマー放電の生成を抑えることができ、被処理物のストリーマー放電による損傷を少なくすることができるものである。

【0150】また本発明の請求項2に記載の発明は、冷却手段として不凍性及び絶縁性を有する液体の冷媒を用いるので、凍結することがなく、また電気的な絶縁性を損なうことなく、外側電極及び内側電極の温度上昇を抑えることができるものである。

【0151】また本発明の請求項3に記載の発明は、冷媒を循環させる循環手段を具備したので、冷却能力の低下した冷媒を外側電極や内側電極から取り出すと共に冷却能力の高い冷媒を外側電極と内側電極に供給することができ、外側電極と内側電極の温度上昇を確実に防止することができるものである。

【0152】また本発明の請求項4に記載の発明は、外側電極として内側電極と絶縁された金属製の円筒管を用いるので、金属製の円筒管を用いて放熱性を高くすることによって、冷媒による外側電極の冷却の効率を高くすることができるものである。

【0153】また本発明の請求項5に記載の発明は、絶縁性材料で反応管を形成すると共に反応管の外周に金属製の外側電極を設けるので、外側電極と内側電極の間に電気的絶縁性材料からなるバリア層を形成することができ、より高い放電の安定化を図ることができるものである。

【0154】また本発明の請求項6に記載の発明は、反応管から吹き出すプラズマジェットの温度を250℃以下に制御するための制御手段を具備するので、制御手段により電極の温度上昇を抑えることができ、熱的損傷やストリーマー放電による損傷を少なくして被処理物をプラズマ処理することができるものである。

【0155】また本発明の請求項7に記載の発明は、外側電極と内側電極の少なくとも一方の表面粗度が10～1000μmであるので、放電の均一化を図ることができ、より高い放電の安定化を図ることができるものである。

【0156】また本発明の請求項8に記載の発明は、誘電率が2000以下の絶縁性材料で反応管を形成するので、外側電極と内側電極の間に印加する電圧を小さくすることができ、プラズマの温度上昇を抑えることができるものである。

【0157】また本発明の請求項9に記載の発明は、内側電極の表面を絶縁性材料でコーティングしたので、外側電極と内側電極の間に印加する電圧を小さくすることができ、プラズマの温度上昇を抑えることができるものである。

【0158】また本発明の請求項10に記載の発明は、プラズマジェットが吹き出される吹き出し口を反応管の

先端面に設け、反応管の先端を吹き出し口側に向かって先細りとなるテーパ構造に形成したので、放電空間の体積を小さくすることなくプラズマジェットの流速を上げることができ、被処理物のプラズマ処理を効率よく行うことができるものである。

【0159】また本発明の請求項11に記載の発明は、プラズマジェットが吹き出される吹き出し口を反応管の先端面に少なくとも1個以上設けたので、複数の吹き出し口から同時にプラズマジェットを吹き出すことができ、被処理物の複数箇所を同時に局所的に処理することができるものである。

【0160】また本発明の請求項12に記載の発明は、吹き出し口からの反応管への不純物含有空気の流れを防止するための流入防止手段を具備したので、運転停止時に有機物や湿気などの微量の不純物を含有する反応管の外部の空気が、吹き出し口から反応管へ流入するのを防止することができ、運転再開時にプラズマの生成を速く効率よく行うことができるものである。

【0161】また本発明の請求項13に記載の発明は、流入防止手段が吹き出し口を塞ぐ蓋体であるので、運転停止時に反応管の吹き出し口を蓋体で閉塞することによって、有機物や湿気などの微量の不純物を含有する反応管の外部の空気が、吹き出し口から反応管へ流入するのを防止することができ、運転再開時にプラズマの生成を速く効率よく行うことができるものである。

【0162】また本発明の請求項14に記載の発明は、流入防止手段が吹き出し口から吹き出される乾燥空気であるので、運転停止時に乾燥空気を吹き出し口から吹き出し続けるようにすることによって、吹き出し口から外部の空気が反応管の内部に侵入するのを防止することができ、運転再開時にプラズマの生成を速く効率よく行うことができるものである。

【0163】また本発明の請求項15に記載の発明は、外側電極を備えた筒状の反応管の内部に内側電極を配置し、反応管に不活性ガスまたは不活性ガスと反応ガスの混合気体を導入すると共に外側電極と内側電極の間に交流電界を印加することにより大気圧下で反応管の内部にグロー放電を発生させ、反応管から被処理物にプラズマジェットを吹き出すようにするプラズマ処理方法において、外側電極と内側電極を冷却しながら外側電極と内側電極の間に交流電界を印加するので、外側電極と内側電極の両方を冷却することによって、大気圧下で周波数の高い交流でプラズマを生成しても、外側電極及び内側電極の温度上昇を抑えることができ、プラズマの温度が高くならないようにすることができて被処理物の熱的損傷を少なくすることができるものであり、また均質なグロー放電を生成してストリーマー放電の生成を抑えることができ、被処理物のストリーマー放電による損傷を少なくすることができるものである。

【0164】また本発明の請求項16に記載の発明は、

被処理物が回路基板であって、回路をプラズマ処理するので、回路の表面改質処理を良好に行うことができ、回路の半田性を向上させることができるものである。

【0165】また本発明の請求項17に記載の発明は、プラズマで処理される回路がボンディングパッドであるので、ボンディングパッドの表面改質処理を良好に行うことができ、ボンディングパッドのワイヤボンド強度や半田性を向上させることができるものである。また回路基板に封止処理を行う場合、封止材と基板との密着性を向上させ、回路基板としての信頼性を高めることができるものである。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の一例を示す断面図である。

【図2】同上の一部を拡大した断面図である。

【図3】同上の他の実施の形態の一例を示す断面図である。

【図4】同上の外側電極の一例を示す斜視図である。

【図5】同上のさらに他の実施の形態を示す断面図である。

【図6】同上の他の実施の形態の一例を示し、(a)は側面図、(b)は断面図である。

【図7】同上の他の実施の形態の一例を示し、(a)は断面図、(b)は一部の断面図、(c)は底面図である。

【図8】同上の他の実施の形態の一例を示し、(a)は一部が破断した側面図、(b)は断面図である。

【図9】同上の使用状態を示す断面図である。

【図10】同上の他の実施の形態を示す断面図である。

【図11】同上のプラズマ処理装置を用いたシステムを示す概略図である。

【図12】同上の被処理物を示す平面図である。

【図13】同上のプラズマ処理装置を用いた他のシステムを示す概略図である。

【図14】同上の一部の平面図である。

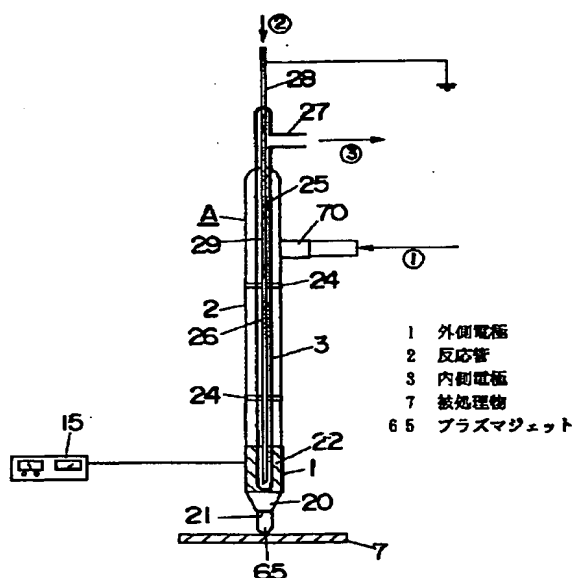
【図15】比較例を示す断面図である。

【図16】(a) (b)は従来例を示す断面図である。

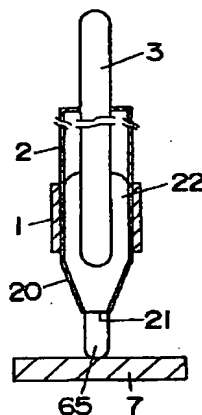
#### 【符号の説明】

- 1 外側電極
- 2 反応管
- 3 内側電極
- 4 循環手段
- 5 流入防止手段
- 6 蓋体
- 7 被処理物
- 8 回路基板
- 9 ボンディングパッド
- 21 吹き出し口
- 48 制御装置
- 65 プラズマジェット

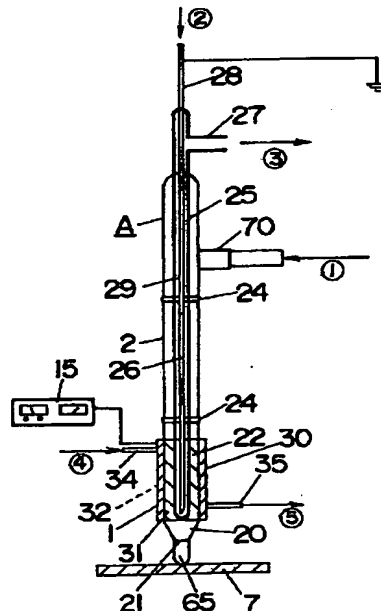
【図1】



【図2】



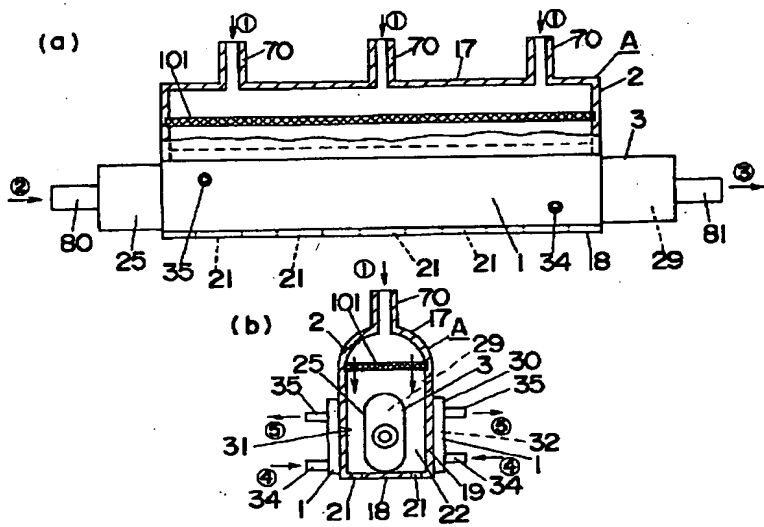
【図3】



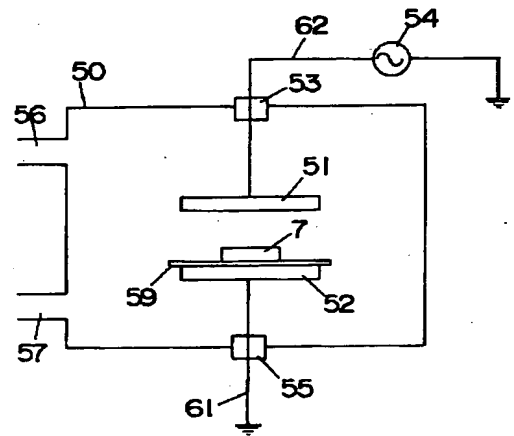




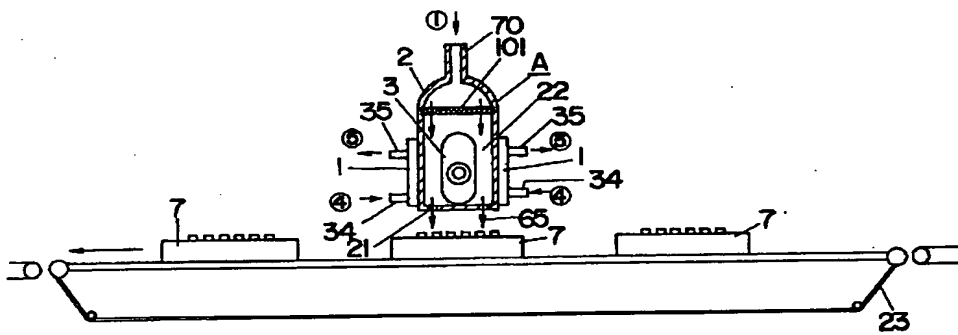
【图 8】



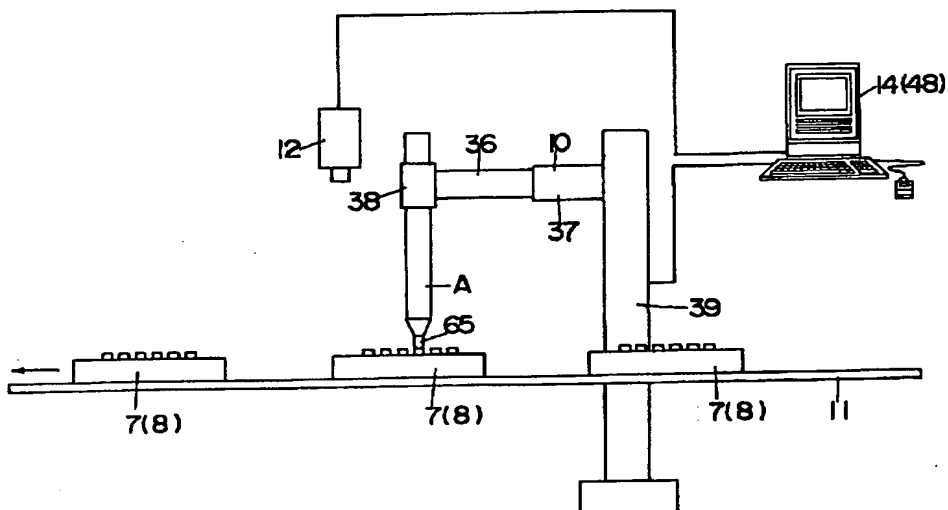
【图 15】



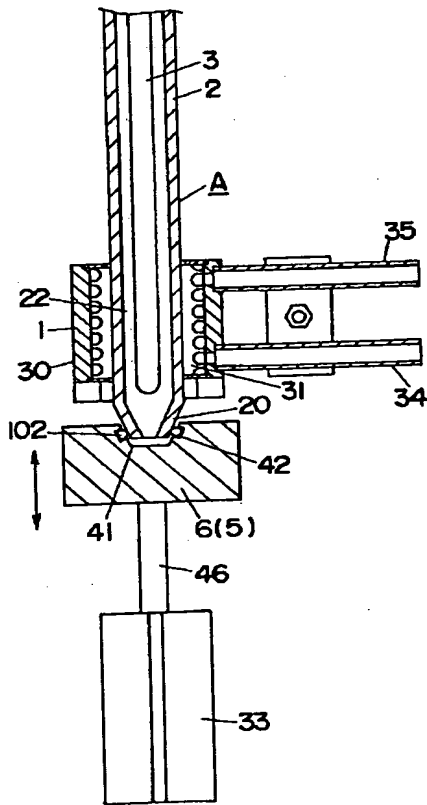
【图 9】



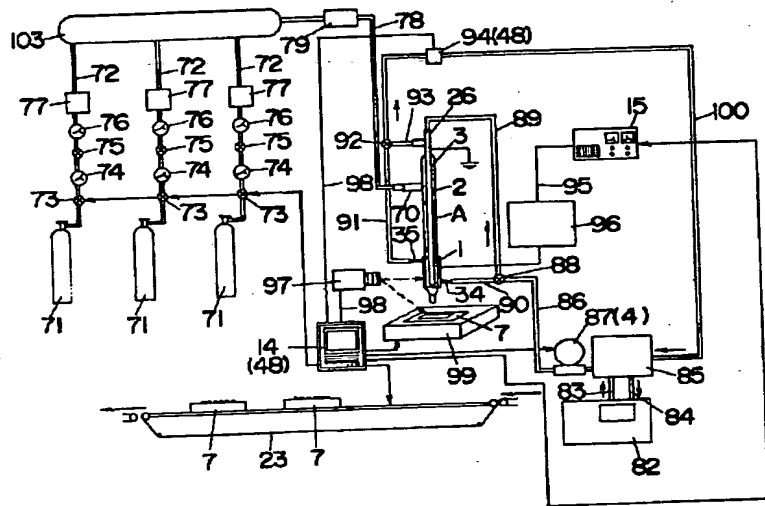
【图 11】



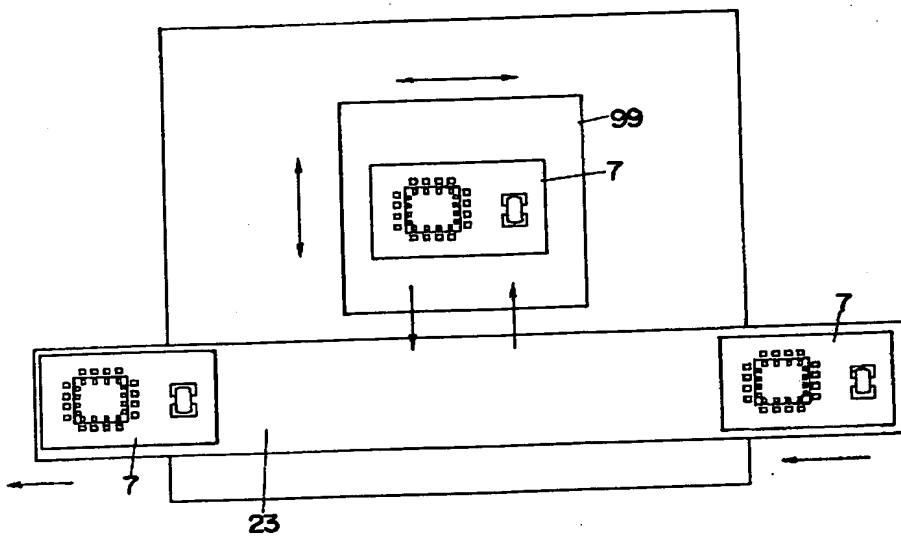
【図10】



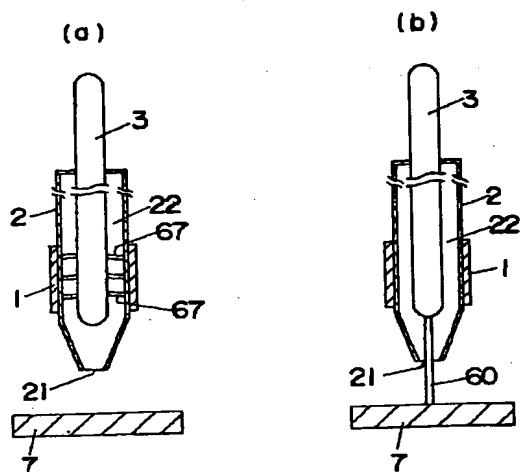
【図13】



【図14】



【图 16】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>  
H 0 5 H 1/24

識別記号

F I  
H O 1 L 21/302

N

(72)発明者 山崎 圭一  
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工  
株式会社内

(72)発明者 井上 吉民  
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工  
株式会社内